



Adriana Filipa Santos Martins

Licenciada em Ciências de Engenharia Civil

Contributo do Projeto Bioclimático para a Sustentabilidade do Edifício

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Urbanismo e Transportes

Orientador: Professor Doutor Miguel Pires Amado,
Professor Auxiliar com Agregação, FCT UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Daniel Aelenei (Professor Auxiliar)

Arguente: Prof. Doutor Fernando Manuel Anjos Henriques
(Professor Catedrático)



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro 2015

“Copyright” Adriana Filipa Santos Martins, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologias e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Miguel Pires Amado pela orientação ao longo de todo este trabalho. Pelo estímulo transmitido, pelo tempo despendido, pela confiança que demonstrou no meu trabalho, mas acima de tudo, pelo conhecimento partilhado ao longo dos últimos anos, que contribuirão para que seja uma melhor profissional.

À Engenheira Francesca Poggi por acreditar no meu valor e pelos conselhos e ajuda transmitidos ao longo da elaboração desta dissertação.

Ao Nuno Vieira, pelo carinho e paciência incondicionais e pelo incentivo, apoio e ajuda constantes ao longo da elaboração desta dissertação e de todo o meu percurso académico.

Aos meus pais, Emília e Francisco, por todo o esforço e dedicação disponibilizados para que eu pudesse atingir os meus objetivos e pela coragem e responsabilidade que sempre me inculcaram. À minha irmã, Patrícia, pelas conversas e pelos momentos em que esteve presente.

Aos meus amigos que me foram acompanhando ao longo destes anos de faculdade e por partilharem momentos comigo.

Resumo

O desenvolvimento sustentável é atualmente uma preocupação a nível mundial, conduzindo as sociedades a procurar formas de garantir as suas necessidades sem que ponham em causa o equilíbrio económico, social e ambiental futuro.

O setor da construção pode contribuir fortemente para o desenvolvimento das sociedades de modo sustentável, desde que ocorra uma consciencialização que conduza ao desenvolvimento de processos e metodologias que levem a uma construção eficiente.

O recurso a soluções que adaptem os edifícios às condições climáticas do local de construção é uma das estratégias mais eficazes para alcançar a sustentabilidade, designando-se esta área de atuação por construção bioclimática.

A presente dissertação estuda as características climáticas que exercem maior influência sobre o desempenho térmico dos edifícios, a nível nacional, com o objetivo de identificar as estratégias a ter em consideração na fase de conceção dos mesmos e que possam constituir uma referência, associada às boas práticas e que no final contribua para a eficiência energética.

Estudadas as principais estratégias bioclimáticas, é proposto um modelo de projeto bioclimático a aplicar na fase de conceção de edifícios de habitação em Portugal. Este modelo tem como objetivo guiar o projetista ao longo da fase de conceção, para que atinja as condições de um balanço energético positivo, recorrendo apenas a soluções bioclimáticas.

A dissertação pretende deste modo realçar a importância de um planeamento ponderado, dos projetos de construção de edifícios, como modo de garantir o nível de conforto térmico e qualidade do ambiente interior das habitações, assegurando ao mesmo tempo que se garante o nível de eficiência energética.

Palavras-chave: Construção Sustentável; Projeto Bioclimático; Estratégias Bioclimáticas; Eficiência Energética; Conforto Térmico

Abstract

Nowadays, sustainable development is a worldwide concern, leading societies to search for ways to satisfy their needs without disrupting the future economic, social and environmental balance.

The construction industry can have a great input in the sustainable development of societies, as long as a sense of awareness is developed in a way that leads to the development of processes and methodologies that lead to an efficient construction.

Resorting to solutions that adapt buildings to their climate conditions in the construction site is one of the most efficient strategies to achieve sustainability. This occupational area is referred to as bioclimatic construction.

The present dissertation studies the climatic characteristics that exert the biggest influence on the thermal performance of buildings on a national level, with the goal of identifying strategies to take into consideration in their conception phase as a reference that, when coupled with good practices, contributes to energy efficiency.

After a study of the main bioclimatic strategies, a model is proposed for a bioclimatic project to be applied in the phase of conception of habitation buildings in Portugal. This model aims at guiding the designer along the phase of conception so that the conditions for a positive energy balance are achieved recurring to bioclimatic solutions.

This way, the present dissertation has the objective of highlighting the importance of a careful planning of construction projects in a way that assures high levels of thermal comfort and interior environment quality, while at the same time guaranteeing no losses on an energy efficiency level.

Keywords: Sustainable Construction; Bioclimatic Design; Bioclimatic Strategies; Energy Efficiency; Thermal Comfort

Índice de Matérias

Capítulo 1. Introdução	1
1. Enquadramento e Justificação do Tema.....	1
2. Objetivo do Estudo	2
2.1. Objetivos Gerais	2
2.2. Objetivos Específicos	3
2.3. Questões de Investigação.....	3
3. Metodologia de Trabalho.....	3
4. Estrutura da Dissertação.....	3
Capítulo 2. Estado da Arte.....	5
1. Desenvolvimento Sustentável	5
2. Construção Sustentável	8
2.1. Edifício Enquanto Processo	11
2.1.1. Setor da Construção em Portugal	15
2.1.2. O Parque Habitacional	16
2.2. A Construção Sustentável e os Edifícios	17
3. Implementação da Construção Sustentável.....	18
3.1. Iniciativas que Fomentam a Construção Sustentável	22
3.1.1. Legislação, Regulamentação e Normas	23
3.1.2. Sistemas de Avaliação da Construção Sustentável.....	27
3.1.3. Iniciativas Globais.....	33
3.1.4. Ferramentas de Modelação, Monitorização e Diagnóstico – Instrumentos de Apoio e Avaliação.....	34
4. Síntese do Capítulo	36
Capítulo 3. Projeto Bioclimático	39
1. Contexto Climático	40
1.1. Fatores e Elementos Climáticos à Escala Macroclimática.....	41
1.2. Fatores e Elementos Climáticos à Escala Microclimática.....	46
1.3. Condições de Conforto.....	49
2. Estratégias Bioclimáticas.....	51
2.1. Regime de Inverno	52

2.2. Regime de Verão.....	63
3. Análises de Casos de Estudo.....	72
4. Síntese do Capítulo	78
Capítulo 4. Proposta de Modelo.....	81
1. Modelo de Projeto Bioclimático	82
Capítulo 5. Aplicação do Modelo a Caso de Estudo.....	107
1. Aplicação do Modelo de Projeto Bioclimático	107
1.1. Descrição do Caso de Estudo	107
1.2. Aplicação do Modelo	110
1.3. Resultados Obtidos	113
1.4. Análise Económica	115
Capítulo 6. Conclusões de Desenvolvimentos Futuros	119
1. Conclusão.....	119
2. Desenvolvimentos Futuros	121
Glossário	123
Bibliografia	127
Anexos.....	133

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Estrutura da dissertação	4
Figura 2.1 – Objetivos do desenvolvimento sustentável na sua tripla dimensão	6
Figura 2.2 – Cronograma temporal: conferências e documentos relacionados com o desenvolvimento sustentável.....	8
Figura 2.3 – Evolução das preocupações no setor da construção	9
Figura 2.4 – Estratégias e ações para o desenvolvimento sustentável no setor da construção	11
Figura 2.5 – Ciclo de vida dos edifícios – fases de intervenção	12
Figura 2.6 – Impactes ambientais das fases de construção, utilização/manutenção, desconstrução de edifícios	14
Figura 2.7 – Proporção de edifícios concluídos por tipo de obra em 2013	16
Figura 2.8 – Modelo do certificado energético de um edifício de habitação (páginas 1 e 2 de 9).....	27
Figura 2.9 – Peso (em percentagem) de cada uma das categorias na avaliação ambiental de habitações segundo o Code for Sustainable Homes	29
Figura 2.10 – Peso (em pontos) de cada uma das categorias de avaliação ambiental de habitações segundo o LEED Homes.....	30
Figura 2.11 – Ponderação (em percentagem) para as 22 áreas do sistema LiderA	33
Figura 2.12 – Consequências da atuação segundo as áreas-chave de obtenção da sustentabilidade nos edifícios.....	36
Figura 2.13 – Sistemas passivos e ativos da construção bioclimática	37
Figura 3.1 – Estratégias bioclimáticas segundo o regime climático	41
Figura 3.2 – Esquema ilustrativo da trajetória solar ao longo do ano.....	43
Figura 3.3 – Diagrama psicrométrico	45
Figura 3.4 – Padrão de vento local representado numa rosa-dos-ventos.....	46
Figura 3.5 – Quantidade de radiação solar que atinge um edifício dependendo do afastamento das obstruções e da orientação.....	47
Figura 3.6 – A velocidade do vento habitualmente registada nos meios urbanos, nos meios rurais e em campo aberto.....	49
Figura 3.7 – Efeito do declive no acesso ao sol.....	54
Figura 3.8 – Medidas a aplicar para evitar correntes de ar	55
Figura 3.9 – Posicionamento dos espaços interiores	56
Figura 3.10 – Comparação do efeito entre o isolamento colocado pelo exterior e pelo interior	58

Figura 3.11 – Pontes térmicas lineares.....	60
Figura 3.12 – Esquema de funcionamento de uma parede de trombe nas várias estações do ano	62
Figura 3.13 – Comportamento de uma estufa solar ao longo do ano.....	62
Figura 3.14 – Efeito dos fluxos de ar sobre um edifício	64
Figura 3.15 – Temperaturas interiores num dia de calor em edifícios de inércia forte e fraca	65
Figura 3.16 – Sistemas de ventilação natural – ventilação cruzada, efeito de chaminé, chaminé solar e aspirador estático	69
Figura 3.17 – Influência de diversas barreiras na velocidade do vento	71
Figura 3.18 – Jacobs House II ou Solar Hemicycle	72
Figura 3.19 – Plantas da Jacobs House II (piso inferior e superior)	73
Figura 3.20 – Casa Termicamente Otimizada.....	73
Figura 3.21 – Esquema das estratégias bioclimáticas aplicadas na CTO	74
Figura 3.22 – Casas em Janas	75
Figura 3.23 – Planta de uma moradia das Casas em Janas	75
Figura 3.24 – Edifício Solar XXI	76
Figura 3.25 – Sistema de arrefecimento do ar através de tubos enterrados utilizado no Edifício Solar XXI	77
Figura 3.26 – Esquema de funcionamento do sistema fotovoltaico com aproveitamento térmico aplicado no Edifício Solar XXI.....	77
Figura 4.1 – Esquema do modelo de projeto bioclimático proposto	82
Figura 4.2 – Condições para determinação das classes de proteção ao vento	84
Figura 4.3 – Indicação das dimensões relevantes para avaliar a proteção ao vento da fração	84
Figura 4.4 – Graus de sombreamento para os diferentes octantes (para ângulos do horizonte superiores a 20°).....	85
Figura 4.5 – Regras a aplicar na escolha da forma e orientação do edifício	86
Figura 4.6 – Ângulo de horizonte α	89
Figura 4.7 – Identificação dos elementos construtivos a considerar no cálculo da massa térmica de uma fração autónoma	99
Figura 4.8 – Esquemas de ventilação – conjunta (esquerda) e separada (direita)	102
Figura 5.1 – Localização da urbanização Casas de Santo António, em Santo António da Charneca, Barreiro.....	108
Figura 5.2 – Planta de enquadramento da Urbanização das Casas de Santo António	108
Figura C.1 – Planta de localização do Lote 7.....	155

Figura C.2 – Planta do piso 2 do Lote 7.....	156
Figura C.3 – Alçado norte do Lote 7	157
Figura C.4 – Alçado sul do Lote 7	158
Figura C.5 – Alçado nascente do Lote 7.....	159
Figura C.6 – Alçado poente do Lote 7	160
Figura D.1 – Localização do edifício e ambiente envolvente.....	163
Figura D.2 – Forma e orientação do edifício (planta do piso 2).....	163
Figura D.3 – Distribuição dos compartimentos interiores da Fração 2.E.	164
Figura D.4 – Distribuição dos vãos envidraçados e proteções solares incluídas no corpo do edifício.....	165
Figura D.5 – Secção do alçado norte (Fração 2.E.).....	165
Figura D.6 – Elementos opacos em contacto com o espaço exterior e ENU	166
Figura D.7 – Caudais de admissão, de passagem interior e de evacuação por setor na Fração 2.E.	169

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Pontos a analisar nas diversas fases do processo de construção sustentável.....	19
Tabela 2.2 – Aspectos relevantes da construção sustentável.....	21
Tabela 2.3 – Listagem de diretivas e regulamentos relacionados com a construção sustentável.....	24
Tabela 2.4 – Principais normas internacionais	25
Tabela 2.5 – Questões de desempenho do SBTtool 2014 Genérico	31
Tabela 2.6 – Aplicações disponibilizadas nos softwares de apoio	35
Tabela 3.1 – Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço.....	51
Tabela 3.2 – Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais	51
Tabela 3.3 – Listagem das estratégias bioclimáticas a aplicar no projeto de um edifício.	52
Tabela 3.4 – Valores de calor específico e massa volúmica de alguns materiais de construção	61
Tabela 3.5 – Estratégias bioclimáticas segundo a tipologia	79
Tabela 4.1 – Classe de proteção ao vento da fração	84
Tabela 4.2 – Orientação dos vários compartimentos de um edifício de habitação	87
Tabela 4.3 – Fator de orientação para as diferentes exposições	87
Tabela 4.4 – Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados.....	92
Tabela 4.5 – Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis	93
Tabela 4.6 – Regras a aplicar no cálculo dos valores da massa superficial útil dos elementos construtivos.....	99
Tabela 4.7 – Fatores de redução da massa superficial para elementos do tipo EL1, EL2 e EL3 sem isolamento térmico	100
Tabela 4.8 – Classes de inércia térmica interior	101
Tabela 4.9 – Perdas de carga das aberturas.....	103
Tabela 4.10 – Coeficiente de absorção da radiação solar.....	106
Tabela 5.1 – Caracterização do edifício em estudo.....	109
Tabela 5.2 – Descrição das soluções diferentes entre o projeto existente e o projeto proposto ..	114
Tabela 5.3 – Balanço energético.....	115
Tabela 5.4 – Orçamento dos elementos diferenciadores	116
Tabela 5.5 – Custos associados à energia necessária anualmente para garantir o conforto térmico da fração autónoma	116
Tabela B.1 – Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão.....	145

Tabela B.2 – Fração envidraçada	145
Tabela B.3 – Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados	145
Tabela B.4 – Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento	145
Tabela B.5 – Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar	146
Tabela B.6 – Valores do fator de sombreamento do horizonte.....	146
Tabela B.7 – Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais na estação de aquecimento	146
Tabela B.8 – Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais na estação de arrefecimento	147
Tabela B.9 – Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais na estação de aquecimento	147
Tabela B.10 – Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais na estação de arrefecimento	147
Tabela B.11 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos	147
Tabela B.12 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opados e de vãos envidraçados	148
Tabela B.13 – Coeficientes de transmissão térmica lineares de referência	148
Tabela B.14 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento contínuo ou sem isolamento térmico.....	149
Tabela B.15 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos com contacto com o terreno com isolamento térmico perimetral horizontal.....	149
Tabela B.16 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos com contacto com o terreno com isolamento térmico perimetral vertical.....	150
Tabela B.17 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes em contacto com o terreno	150
Tabela B.18 – Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares	151
Tabela B.19 – Valores das resistências térmicas superficiais	151
Tabela B.20 – Valores da resistência térmica dos espaços de ar não ventilados	152
Tabela D.1 – Soluções construtivas aplicadas à envolvente da fração autónoma em estudo.....	166
Tabela D.2 – Soluções construtivas aplicadas aos elementos opacos interiores	168

Lista de Acrónimos

ADENE	Agência para a Energia
AdEPorto	Agência de Energia do Porto
AFNOR	<i>Association Française de Normalisation</i>
EAVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BRE	<i>Building Research Establishment</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CASBEE	<i>Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency</i>
CEN	Comité Européen de Normalização
CIB	<i>Conseil International du Bâtiment</i>
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
CO ₂	Dióxido de Carbono
CSTB	<i>Centre Scientifique et Technique du Bâtiment</i>
DGNB	<i>Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen</i>
DoP	<i>Declaration of Performance</i>
E	Este
ECEEE	<i>European Council for an Energy Efficient Economy</i>
ENDS	Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável
ENU	Espaço Não Útil
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
EU	<i>European Union</i>
FEPICOP	Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas
GBC	<i>Green Building Challenge</i>
GEE	Gases com Efeito de Estufa
H	Horizontal
HQE	<i>Haute Qualité Environnementale</i>
ICB	<i>Expanded Insulation Cork Board</i>
iiSBE	<i>International Initiative for a Sustainable Built Environment</i>
INE	Instituto Nacional de Estatística
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
IPA	Inovação e Projetos em Ambiente
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITeCons	Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências de Construção

IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
LEED	<i>Leadership in Energy & Environmental Design</i>
LFTC-UM	Laboratório de Física e Tecnologias da Universidade do Minho
LiderA	Liderar pelo Ambiente na Procura da Sustentabilidade na Construção
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
N	Norte
NABERS	<i>National Australian Built Environment Rating System</i>
NE	Nordeste
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
NW	Noroeste
NZEB	<i>Nearly Zero Energy Building</i>
OCDE	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PIB	Produto Interno Bruto
PIENDS	Plano de Implementação da Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável
PQ	Perito Qualificado
PTP	Ponte Térmica Plana
Quercus	Associação Nacional de Conservação da Natureza
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RGR	Regulamento Geral de Ruído
RRAE	Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
S	Sul
SBA	<i>Sustainable Building Alliance</i>
SBCI	<i>Sustainable Buildings and Climate Initiative</i>
SBTool	<i>Sustainable Building Tool</i>
SCE	Sistema Certificação Energética dos Edifícios
SE	Sudeste
SW	Sudoeste
TIM	Técnico de Instalação e Manutenção
UE	União Europeia
UN	<i>United Nations</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Program</i>

UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
USGBC	<i>U.S. Green Building Council</i>
W	Oeste
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
WCED	<i>World Commission on Environment and Development</i>

Lista de Símbolos

A	Área (m ²)
B	Desenvolvimento linear (m)
c	Calor específico (J/kg.°C)
D	Distância (m)
e	Espessura (m)
G	Energia solar incidente (kWh)
H	Altura (m)
H	Coefficiente de transferência de calor (W/°C)
Hr	Humidade relativa (%)
I_t	Inércia Térmica (kg/m ²)
m	Massa superficial (kg/m ²)
M_s	Massa superficial útil (kg/m ²)
P	Perímetro (m)
Q	Ganhos térmicos (kWh)
R	Resistência térmica (m ² .°C/W)
R_{se}	Resistência superficial exterior (m ² .°C/W)
R_{si}	Resistência superficial interior (m ² .°C/W)
U	Coefficiente de transmissão térmica superficial (W/ m ² .°C)
V	Volume (m ³)
X	Fator de orientação (adimensional)
z	Profundidade (m)
θ	Temperatura (°C)
λ	Condutibilidade térmica do material seco (W/m.°C)
ρ	Massa volúmica (kg/m ³)
ψ	Coefficiente de transmissão térmica linear (W/m.°C)

Lista de Equações

- (1) Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento (kWh)

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \cdot \sum_j \left[X_j \cdot \sum_n F_{s,i_{nj}} \cdot A_{s,i_{nj}} \right] \cdot M$$

- (2) Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na estação de aquecimento (m²)

$$A_{s,i_{nj}} = A_w \cdot F_g \cdot g_i$$

- (3) Fator solar do vão envidraçado na estação de aquecimento (adimensional)

$$g_i = F_{w,i} \cdot g_{\perp,vi}$$

- (4) Fator de obstrução do vão envidraçado (adimensional)

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f$$

- (5) Transferência de calor por transferência na estação de aquecimento (kWh)

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i}$$

- (6) Coeficiente de transferência de calor por transmissão no vão envidraçado na estação de aquecimento (W/°C)

$$H_{tr,i} = H_{ext_w} = U_{wdn} \cdot A_w$$

- (7) Ganhos térmicos úteis na estação de arrefecimento (kWh)

$$Q_{sol,v} = \sum_j \left[I_{sol_j} \cdot \sum_n F_{s,v_{nj}} \cdot A_{s,v_{nj}} \right]$$

- (8) Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento (m²)

$$A_{s,v_{nj}} = A_w \cdot F_g \cdot g_v$$

- (9) Fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento (adimensional)

$$g_v = F_{mv} \cdot g_T + (1 - F_{mv}) \cdot g_{TP}$$

- (10) Fator solar global de um vão envidraçado com vidro simples e proteções solares totalmente ativadas

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,85}$$

- (11) Fator solar global de um vão envidraçado com vidro duplo e proteções solares totalmente ativadas

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,75}$$

- (12) Condição aplicável ao fator solar global do vão envidraçado com os dispositivos de proteção totalmente ativados, se A_{env} for menor ou igual a 15% da A_{pav}

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tm\acute{a}x}$$

- (13) Condição aplicável ao fator solar global do vão envidraçado com os dispositivos de proteção totalmente ativados, se A_{env} for superior a 15% da A_{pav}

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tm\acute{a}x} \cdot \frac{0,15}{\frac{A_w}{A_{pav}}}$$

- (14) Coeficiente de transmissão térmica (W/(m²·°C))

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

- (15) Resistência térmica (W/(m²·°C))

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda_j}$$

- (16) Dimensão característica do pavimento (m)

$$B' = \frac{A_p}{0,5 \cdot P}$$

- (17) Transferência de calor por transferência na estação de arrefecimento (kWh)

$$Q_{tr,v} = \frac{H_{tr,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \cdot L_v}{1000}$$

- (18) Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento (W/°C)

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs}$$

- (19) Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento (W/°C)

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs}$$

- (20) Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior (W/°C)

$$H_{ext} = \sum_i (U_i \cdot A_i) + \sum_j (\psi_j \cdot B_j)$$

- (21) Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis ou edifícios adjacentes (W/°C)

$$H_{enu,adj} = b_{tr} \cdot \left(\sum_i (U_i \cdot A_i) + \sum_j (\psi_j \cdot B_j) \right)$$

- (22) Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo (W/°C)

$$H_{ecs} = \sum_i (U_{bfi} \cdot A_i) + \sum_j (z_j \cdot P_j \cdot U_{bwj})$$

- (23) Massa superficial útil por superfície de área de pavimento (kg/m²)

$$I_t = \frac{\sum_i M_{s,i} \cdot r \cdot S_i}{A_p}$$

- (24) Área útil das aberturas de ventilação (cm²)

$$A_u = \frac{Q_{tipo}}{0,60 \cdot 3600 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho_{ar}}}} \cdot 1000$$

- (25) Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento (kWh)

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{ve,i}$$

- (26) Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento (W/°C)

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d$$

- (27) Transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento (kWh)

$$Q_{ve,i,ref} = 0,024 \cdot GD \cdot 0,34 \cdot R_{ph,ref} \cdot A_p \cdot P_d$$

- (28) Transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento (kWh)

$$Q_{ve,v} = \frac{H_{ve,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \cdot L_v}{1000}$$

- (29) Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado interior na estação de aquecimento (m²)

$$A_{s,i} = (A_w)_{int} \cdot (F_g)_{int} \cdot (F_g)_{enu} \cdot (g_i)_{int} \cdot (g_i)_{enu}$$

- (30) Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado interior na estação de arrefecimento (m²)

$$A_{s,v} = (A_w)_{int} \cdot (F_g)_{int} \cdot (g_v)_{int} \cdot (g_v)_{enu}$$

- (31) Área efetiva coletora de radiação solar da envolvente opaca exterior na estação de arrefecimento (m²)

$$A_{s,v,nj} = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$$

Capítulo 1

Introdução

1. Enquadramento e Justificação do Tema

Desde a segunda metade do século XX que o Homem começou a tomar uma maior consciência das consequências do desenvolvimento desregrado da sociedade. O rápido crescimento populacional, a procura de uma melhor qualidade de vida, os efeitos do progresso tecnológico ao nível do consumo de recursos, a atividade industrial e o setor da construção em constante expansão, levaram à necessidade de repensar os modelos de desenvolvimento.

Surge neste contexto, em 1987, como resposta o Relatório da Comissão Mundial para o Desenvolvimento Económico das Nações Unidas, também denominado como Relatório de Brundtland, no qual se afirma a necessidade da alteração do caminho em curso.

Neste sentido, é defendida a preocupação de que o modelo de desenvolvimento permita que o crescimento não hipoteque as gerações futuras de poderem ter acesso aos recursos, no nível e qualidade, pelos menos iguais às gerações presentes.

Apesar do setor da construção contribuir em grande parte para a economia mundial, ele representa também uma das principais causas da degradação do meio ambiente. O setor da construção de edifícios é um dos grandes responsáveis pelo impacte negativo sobre o ambiente, tanto na fase de construção e desconstrução como na fase de utilização. Entre os impactes de que este setor é responsável, destaca-se o consumo excessivo de recursos naturais não renováveis e a produção de resíduos e efluentes poluentes.

O ambiente edificado e o seu desempenho é também um dos principais responsáveis pelo aumento do consumo de energia e água. Esta tendência tem vindo a aumentar ao longo dos tempos, em resposta às necessidades de uma população moderna cada vez mais exigente.

No entanto, a falta de qualidade na construção dos edifícios nas últimas décadas intensificou fortemente o consumo de recursos, em especial durante a fase de utilização. Tal resulta de os edifícios não responderem às necessidades dos utilizadores, quer seja em relação ao nível de conforto térmico, iluminação natural, conforto acústico e qualidade do ar interior, levando os utilizadores a recorrer a meios mecânicos para obterem os níveis de conforto desejados, levando a consumos energéticos elevados a longo prazo.

O setor da construção é ainda responsável por um excessivo consumo de recursos materiais durante a fase de construção e a uma produção elevada de resíduos e efluentes.

Devido a todo este contexto, tem-se assistido a uma crescente preocupação em alterar o rumo que o setor, procurando criar e aplicar novas soluções mais eficientes que conduzam a uma construção mais sustentável.

As áreas de intervenção que têm como objetivo alcançarem a sustentabilidade dos edifícios são inúmeras e todos os dias surgem novas estratégias, novas soluções e novas tecnologias que procuram contribuir para a eficiência dos edifícios. Entre os principais caminhos a seguir para a obtenção de edifícios mais sustentáveis são a adoção de soluções suportadas nas soluções de energias renováveis, materiais de construção ecológicos, equipamentos mais eficientes, multifuncionalidade dos edifícios. Para suporte destas estratégias, ressalta também o caminho da redução de necessidades, onde as soluções de projeto bioclimático se afigura com potencial muito elevado para alcançar o objetivo.

2. Objetivo do Estudo

A identificação da importância que os parâmetros estruturantes do projeto bioclimático podem trazer para o nível de conforto ambiental e de desempenho dos edifícios é o objetivo deste estudo.

As implicações que decorrem da implementação de um modelo de projeto bioclimático têm reflexos na performance energética do edifício. Daí que é importante conhecer, num contexto de análise custo-benefício, as valias que as soluções de bioclimática podem ter para a sustentabilidade do edifício.

Deste modo, pretende-se também com este estudo desenvolver uma estrutura metodológica que permita incluir e assegurar a aplicação de estratégias bioclimáticas ao longo do processo de conceção do projeto de edifícios.

2.1. Objetivos Gerais

O presente trabalho tem como objetivos gerais a identificação e integração em estrutura metodológica do conjunto de parâmetros bioclimáticos que concorrem para a sustentabilidade do edifício.

A vantagem que o desenvolvimento de um modelo de projeto bioclimático tem como resultado a orientação de uma abordagem mais sustentável aplicável à conceção de edifícios. Permite ter como base de aplicação o uso do clima enquanto parâmetro modelador de soluções e, deste modo, contribuir para a implementação de soluções de projeto mais sustentáveis e de menor consumo de recursos energéticos.

2.2. Objetivos Específicos

São objetivos específicos da dissertação identificar qual o conjunto de parâmetros que são determinantes para o projeto bioclimático e a seleção e validação de estratégias que podem auxiliar a alcançar um desempenho mais eficiente dos edifícios com base nas soluções selecionadas.

2.3. Questões de Investigação

Este trabalho pretende no contexto dos seus objetivos responder a:

- Quais as vantagens e modelo de projeto bioclimático com maior contributo para a sustentabilidade dos edifícios?
- Como demonstrar o efetivo contributo, em termos de eficiência energética, resultante da aplicação do modelo de projeto bioclimático quando utilizado em fase de projeto?

3. Metodologia de Trabalho

A metodologia adotada no desenvolvimento deste trabalho passou por uma explicação inicial dos motivos que conduziram à necessidade de procurar e criar soluções sustentáveis a aplicar ao setor da construção. Para além disso, procurou-se justificar a importância que a construção bioclimática representa no percurso para alcançar uma construção e desenvolvimento sustentáveis.

Após a explicação do motivo que levou à elaboração desta dissertação, passou-se à descrição de todas as estratégias que podem ser aplicadas e utilizadas para atingir um nível elevado de conforto no interior dos edifícios, ao mesmo tempo que se garante a eficiência energética dos mesmos, recorrendo exclusivamente à adoção de uma conceção com parâmetros de bioclimática.

Com base na análise das várias estratégias existentes e na análise dos resultados obtidos da aplicação das mesmas em alguns casos de estudo, passou-se à fase de criação de uma proposta de modelo de projeto bioclimático, a aplicar na fase de conceção de projetos de edifícios de habitação em Portugal. O modelo proposto é composto por uma explicação detalhada dos passos a seguir ao longo do processo de conceção, sendo acompanhado por uma ficha auxiliar.

Por fim, sentiu-se a necessidade de averiguar o contributo efetivo da ferramenta proposta nesta dissertação, tendo sido aplicada a um caso de estudo com um projeto pré-existente. A avaliação do desempenho do modelo proposto foi realizada através da comparação dos balanços energéticos obtidos para o caso do projeto existente e para o caso do projeto proposto, tendo sido complementada por uma análise económica comparativa.

4. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos e é acompanhada por seis anexos, sendo o primeiro, o presente capítulo introdutório, constituído pelo enquadramento e justificação do tema,

pelos objetivos que motivaram o desenvolvimento da dissertação e pela estruturação e metodologia seguida.

O segundo capítulo apresenta, sucintamente, as definições e desenvolvimento associado aos termos “desenvolvimento sustentável” e “construção sustentável”, bem como são descritos os conceitos associados ao edifício enquanto processo e à referência ao estado atual do setor da construção e do parque habitacional em Portugal. Também neste capítulo são enumeradas e descritas as diversas iniciativas que procuram fomentar a construção sustentável de edifícios.

No terceiro capítulo é realizado um estudo dos fatores e elementos climáticos que influenciam o comportamento térmico de um edifício e enumeradas as condições de conforto tidas como referência para um edifício de habitação. Este capítulo aborda ainda uma lista de estratégias bioclimáticas a ter em consideração durante o processo de conceção do projeto de um edifício de habitação. Por fim, é feita a análise de quatro casos de estudo que se consideram relevantes para a validação das estratégias mencionadas.

No quarto capítulo é proposto um modelo de procedimentos de projeto bioclimático a aplicar durante a conceção do projeto de um edifício de habitação, sendo seguida uma lógica de processo contínuo e planeado recorrendo a fases e etapas de atuação.

No capítulo cinco é aplicado o modelo proposto no capítulo anterior a um caso de estudo. Após a aplicação do modelo, desenvolve-se uma avaliação do desempenho efetivo do modelo proposto, comparando-se o balanço energético do projeto existente com o do projeto proposto. Em complemento, procede-se à análise económica da solução proposta para o caso de estudo.

No sexto e último capítulo, expõem-se as conclusões finais acerca de todo o trabalho desenvolvido e referem-se alguns pontos a desenvolver no futuro.

A Figura 1.1 apresenta o esquema da estrutura da presente dissertação.

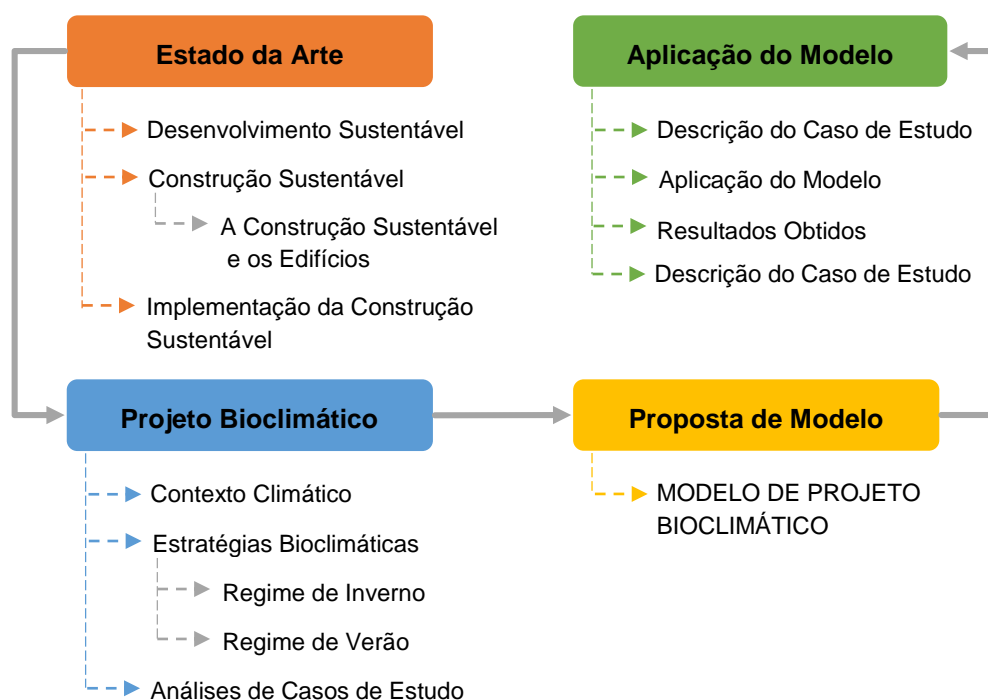


Figura 1.1 – Estrutura da dissertação

Capítulo 2

Estado da Arte

O presente capítulo enquadra a temática do desenvolvimento sustentável e a sua relação com a construção sustentável. Esta divisão em 4 subcapítulos abrange os principais conceitos e definições relacionados com sustentabilidade, construção e edifícios e as abordagens às ferramentas que, conjugadas com o projeto bioclimático, promovem o alcançar da sustentabilidade na atividade do setor da construção.

1. Desenvolvimento Sustentável

O desenvolvimento sustentável tornou-se uma preocupação mundial na segunda metade do século XX, quando o Homem começou a ter consciência da progressiva degradação do meio ambiente causada pelas suas políticas de desenvolvimento. A partir desta altura começou-se a ter em consideração a influência da destruição da camada de ozono, da desflorestação, da intensa produção de resíduos urbanos, domésticos e industriais e dos consequentes efeitos de estufa, chuvas ácidas e aquecimento global, os quais colocam em causa o funcionamento do planeta. O desenvolvimento da sociedade, ao nível populacional, da qualidade de vida e do progresso tecnológico, industrial e construído, conduziu a um aumento não controlado do consumo dos recursos e materiais disponíveis na natureza (Silva, 2009).

Assim, "... desenvolvimento sustentável vai ao encontro das necessidades das gerações presentes sem comprometer a capacidade de desenvolvimento próprio das gerações futuras." (WCED, 1987), implicando a integração equilibrada dos setores económico, social e ambiental (Figura 2.1).

Foi a vertente económica que apresentou maior expressão ao longo do tempo, com a expansão da industrialização a diversas áreas e com o crescimento do comércio a nível global, que contribuiu para o Produto Interno Bruto (PIB) de cada país, controlando o número de postos de trabalho disponíveis e fazendo com que a dimensão social seja a mais equilibrada das três vertentes.

Por outro lado, a vertente que apresenta uma maior fragilidade no seu desenvolvimento é a ambiental ou ecológica, uma vez que esta está associada a uma falta de consciencialização da população para as problemáticas com o ambiente (Sousa, 2012).

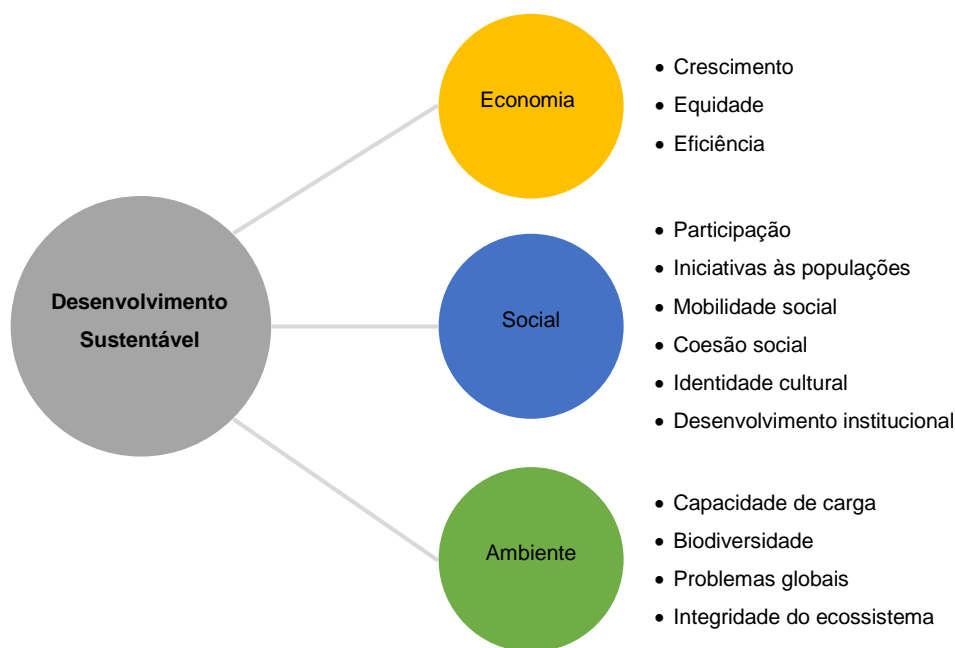


Figura 2.1 – Objetivos do desenvolvimento sustentável na sua tripla dimensão

(Adaptado de Pinheiro, 2006)

Vários acordos foram realizados com o objetivo de travar o aumento da poluição e as consequências que daí advêm para o planeta e para os seres vivos. Como resultado destes acordos, definiu-se uma série de objetivos gerais a serem atingidos, com vista à obtenção de um desenvolvimento mais sustentável (Kates, 2005 citado por Ganhão, 2011):

- “Manter a qualidade e diversidade dos ecossistemas, sem comprometer a sua capacidade de suportar a vida animal, vegetal e humana;
- Utilizar eficientemente os recursos naturais, recorrendo maioritariamente a fontes recicláveis;
- Minimizar a poluição, nomeadamente controlando a produção de resíduos e a emissão de gases poluentes;
- Satisfazer as necessidades da população (habitação, educação, lazer, alimentação, saúde), fomentando a melhoria da qualidade de vida e a equidade social.”

Segundo Goulart (2008), “a sustentabilidade não é um objetivo a ser alcançado, não é uma situação estanque, mas sim um processo, um caminho a ser seguido.”

Estas preocupações têm incentivado à reflexão da qual surgiu a necessidade de introduzir conceitos sustentáveis aos diferentes setores de atividade da sociedade. Esta dissertação assenta sobre o setor da construção, o qual contribui fortemente para o desenvolvimento sustentável.

Para que o desenvolvimento sustentável de um país ou de uma região seja possível, é necessário que os governos interpretem a sustentabilidade como um tema central para direcionar o desenvolvimento, sendo necessário que criem leis e incentivos para a construção de edifícios que sejam projetados tendo em consideração variáveis que os tornem mais sustentáveis.

- **Breve Nota Histórica**

O surgimento do conceito “desenvolvimento sustentável” remonta a 1969, num estudo desenvolvido pela UNESCO que admitia que, no ano de 2000, a população urbana equilibraria numericamente a população rural em todo o mundo em apenas 15% da área (Amado, 2009).

Mas a utilização alargada do termo teve como ponto de partida as duas conferências das Nações Unidas em 1987, sobre o ambiente e desenvolvimento. O conceito foi consagrado no relatório “*Our common future*”, publicado em 1987 pela World Commission on Environment and Development. Este relatório é mais conhecido por Relatório Brundtland e definia desenvolvimento sustentável como “... desenvolvimento sustentável vai ao encontro das necessidades das gerações presentes sem comprometer a capacidade de desenvolvimento próprio das gerações futuras.” (WCED, 1987).

A publicação do Relatório Brundtland despontou a necessidade de debate, conduzindo à Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), no Rio de Janeiro em 1992. Nesta cimeira foram elaboradas estratégias e criado um programa de medidas integradas para parar e inverter os efeitos da degradação ambiental e para promover um desenvolvimento compatível com o meio ambiente e sustentável em todos os países. Este Plano de Ação foi aceite por 150 países e é atualmente conhecido por Agenda 21 (Bensusan, Barros, Bulhões, & Arantes, 2006).

Em 1993, um estudo realizado pelo Banco Mundial admitia que o ano de 2010 seria aquele em que a maioria da população mundial iria habitar em cidades, o que traria problemas para os sistemas urbanos daí resultantes e para as questões da desertificação e escassez de recursos nas áreas rurais (Amado, 2009).

Desde 1969 que foram realizadas diversas conferências para o desenvolvimento sustentável, apresentando-se as principais na Figura 2.2.

Para além da conferência anteriormente descrita, é igualmente relevante falar sobre o Protocolo de Quioto. Este protocolo consiste num tratado internacional de compromisso que visa diminuir a emissão de GEE nos países desenvolvidos. Trinta e sete países industrializados e a Comunidade Europeia comprometeram-se a reduzir essas emissões, em pelo menos 5%, durante o período de 2008 a 2012, em relação ao valor de 1990. O Protocolo de Quioto foi assinado em 1997 e entrou em vigor em 2005. Em 2012, foi adotada a Emenda ao Protocolo de Quioto, em Doha. Durante este novo período de compromisso, os países comprometeram-se a reduzir em pelo menos 18% a emissão de GEE entre 2013 e 2020, em relação ao valor de 1990. No entanto, nesta segunda fase do Protocolo de Quioto o número de países comprometidos reduziu significativamente, para além dos países integrantes da União Europeia, assinaram apenas mais sete outros países – Austrália, Bielorrússia, Cazaquistão, Mónaco, Noruega, Suíça e Ucrânia (UN, 2014_b).

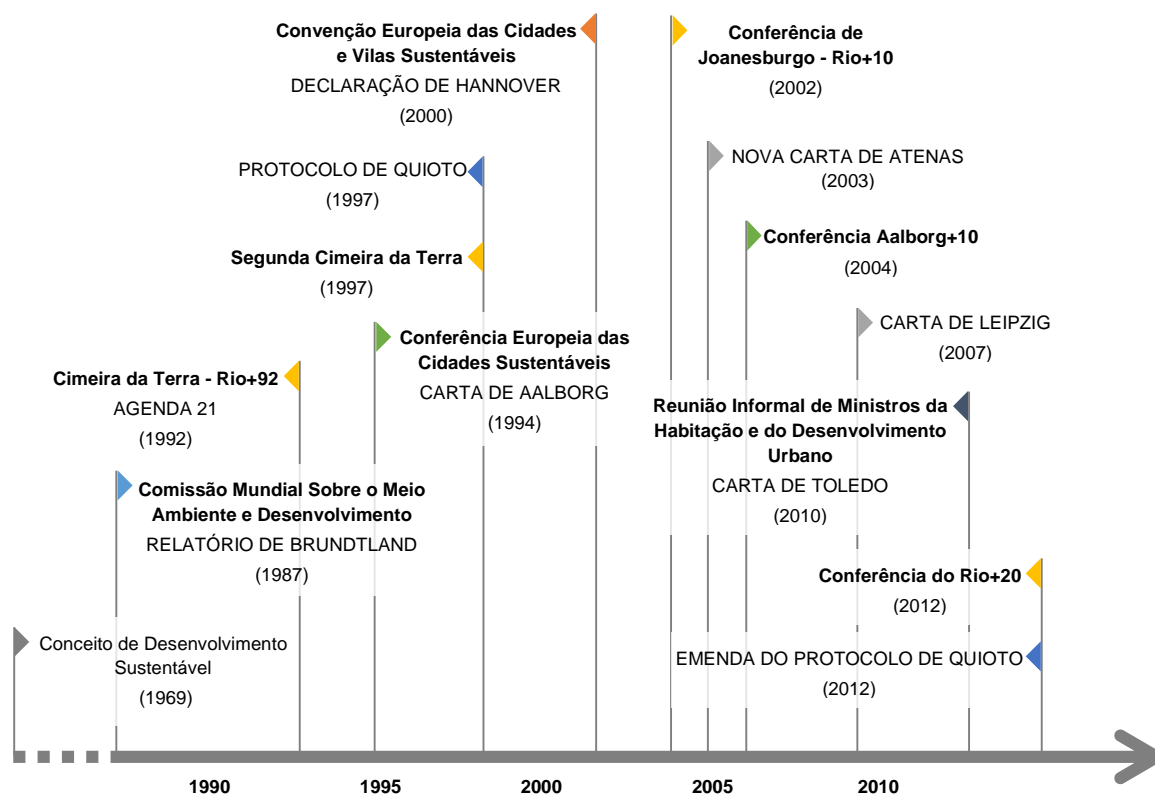


Figura 2.2 – Cronograma temporal: conferências e documentos relacionados com o desenvolvimento sustentável

No contexto nacional existem dois documentos de referência obrigatória: a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS 2015) e o Plano de Implementação das Estratégias Nacionais de Desenvolvimento Sustentável (PIENDS), ambos aprovados em Resolução de Conselho de Ministros em 28 de Dezembro de 2006. Enquanto o primeiro documento traça os domínios estratégicos rumo à sustentabilidade, as metas e os instrumentos setoriais, o segundo concretiza os indicadores a utilizar, as fontes de informação e a metodologia para o seu cálculo, estabelecendo a ligação com os princípios estabelecidos na Agenda 21 e ilustrando a situação atual do país.

A ENDS 2015 tem como metas colocar Portugal num patamar de desenvolvimento económico mais próximo da média europeia, melhorar a posição do país no Índice de Desenvolvimento Humano e reduzir o *deficit* ecológico em 10% (Governo da República Portuguesa, 2006).

2. Construção Sustentável

A construção civil é entendida como “tudo o que é construído ou resulta de operações de construção e que está fixo no solo.” (Diretiva 89/106/CEE, citado por Pinheiro, 2006). Assim, incluem-se nas construções edifícios de habitação, industriais, comerciais, sociais e de equipamentos, infraestruturas rodoviárias e fluviais, entre outras.

O setor da construção contribui determinantemente para a economia, com uma forte influência no volume de emprego, no PIB e na formação bruta do capital fixo, tendo ainda um significativo impacto

nas restantes áreas económicas e representando o maior setor da indústria na Europa (UNEP, 2003).

Por outro lado, o setor da construção tem sido um dos principais responsáveis pela degradação do meio ambiente e por todos os problemas que daí advêm (económicos, sociais e ambientais).

Esta responsabilidade passa principalmente pela poluição ambiental, quer sob a forma de emissões de CO₂ para a atmosfera, quer pela elevada produção de resíduos e efluentes derivados da construção e demolição de edifícios. Para além da poluição ambiental, existe também o problema do consumo excessivo de recursos naturais não renováveis. Segundo a Associação Nacional de Conservação da Natureza (Quercus, 2009), a construção consome 50% dos recursos materiais utilizados mundialmente, sendo destes 45% recursos energéticos, 40% água, 60% do solo e 70% da madeira e é responsável por mais de 25% dos resíduos sólidos produzidos.

Foi com base na consciencialização da influência do setor da construção civil no ambiente que surgiu a necessidade de desenvolver processos, metodologias e operações de construção que conduzissem a uma construção eficiente. A esta nova corrente de ações deu-se o nome de construção sustentável (Ferreira, 2010).

O conceito de construção sustentável aplica a ideia global do desenvolvimento sustentável ao setor da construção. Assim, a construção sustentável é aquela que minimiza os impactos da construção no ambiente, com aproveitamento dos recursos naturais, racionalizando o uso da energia e utilizando tecnologias que permitam economizar os consumos de água.

O processo de decisão para a construção, aplicado anteriormente ao surgimento da noção de sustentabilidade, resumia-se graficamente através de um modelo triangular, em que cada vértice correspondia a uma preocupação específica: qualidade do produto, tempo despendido e custos associados (Figura 2.3).

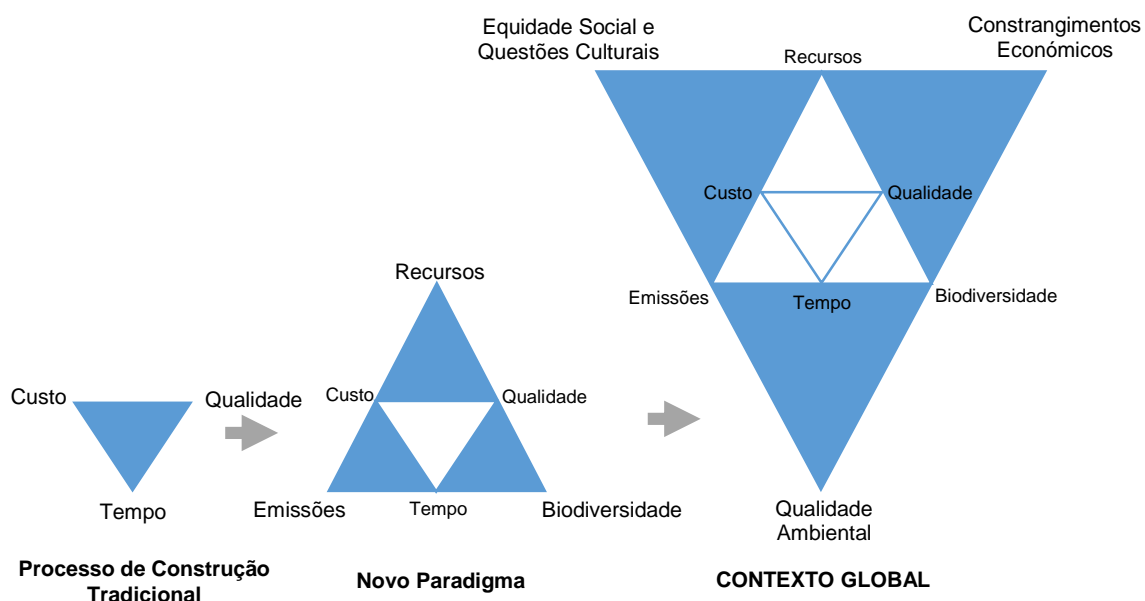


Figura 2.3 – Evolução das preocupações no setor da construção

(Adaptado de Bourdeau, 1999)

Com o aparecimento do novo paradigma da construção sustentável, o modelo triangular anterior foi absorvido por um novo, com a mesma forma, acrescentando três novas preocupações mais ligadas ao ambiente: consumo de recursos, emissões de poluentes e a preservação da biodiversidade (Figura 2.3).

Posteriormente, foram introduzidas as três dimensões do desenvolvimento sustentável ao modelo de decisão para a construção sustentável, ou seja: desenvolvimento economicamente sustentável, equidade social e herança cultural e, por último, qualidade de vida e qualidade do ambiente construído (Figura 2.3) (Bourdeau, 1999).

- **Breve Nota Histórica**

O conceito de construção sustentável surgiu pela primeira vez em 1994, na Primeira Conferência Mundial sobre a Construção Sustentável, na Florida, e onde foi discutido o futuro da construção no contexto da sustentabilidade. Nesta conferência, Charles Kibert, definiu construção sustentável como “a criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente dos recursos” (Kibert, 1994). Charles Kibert considerou que os recursos da construção são os materiais, o solo, a energia e a água e, baseando-se nesta ideia, definiu seis princípios básicos da construção sustentável (Kibert, 1994):

- Minimizar o consumo de recursos;
- Maximizar a reutilização de recursos;
- Utilizar recursos renováveis ou recicláveis;
- Proteger os sistemas naturais;
- Criar um ambiente saudável e não-tóxico;
- Procurar criar um ambiente de construção com qualidade.

Em 1996, foi elaborada a Agenda Habitat II na Conferência das Nações Unidas realizada em Istambul. Nesta conferência assumiu-se ser imperativo melhorar a qualidade dos aglomerados humanos, uma vez que, se a qualidade for insuficiente, afeta a vida quotidiana e o bem-estar das pessoas. Os objetivos principais da Habitat II são os de fomentar a igualdade de acesso à habitação por todos e promover o desenvolvimento sustentável dos aglomerados populacionais (UN, 1996).

Em 1998, a CIB organizou um congresso mundial na Suécia sobre o tema “Construção e Ambiente” e em 1999, a mesma organização adotou a Agenda 21 sobre Construção Sustentável e que pertence ser um intermediário entre as Agendas Internacionais e as Agendas Nacionais e Locais. Para além disso, este documento serve como consolidação das estratégias definidas na Agenda Habitat II. Segundo este documento, os maiores desafios que o setor da construção enfrenta são (CIB, 1999):

- Promover a eficiência energética;
- Reduzir o uso de água potável;
- Selecionar materiais com base no seu desempenho ambiental;
- Contribuir para um desenvolvimento urbano sustentável.

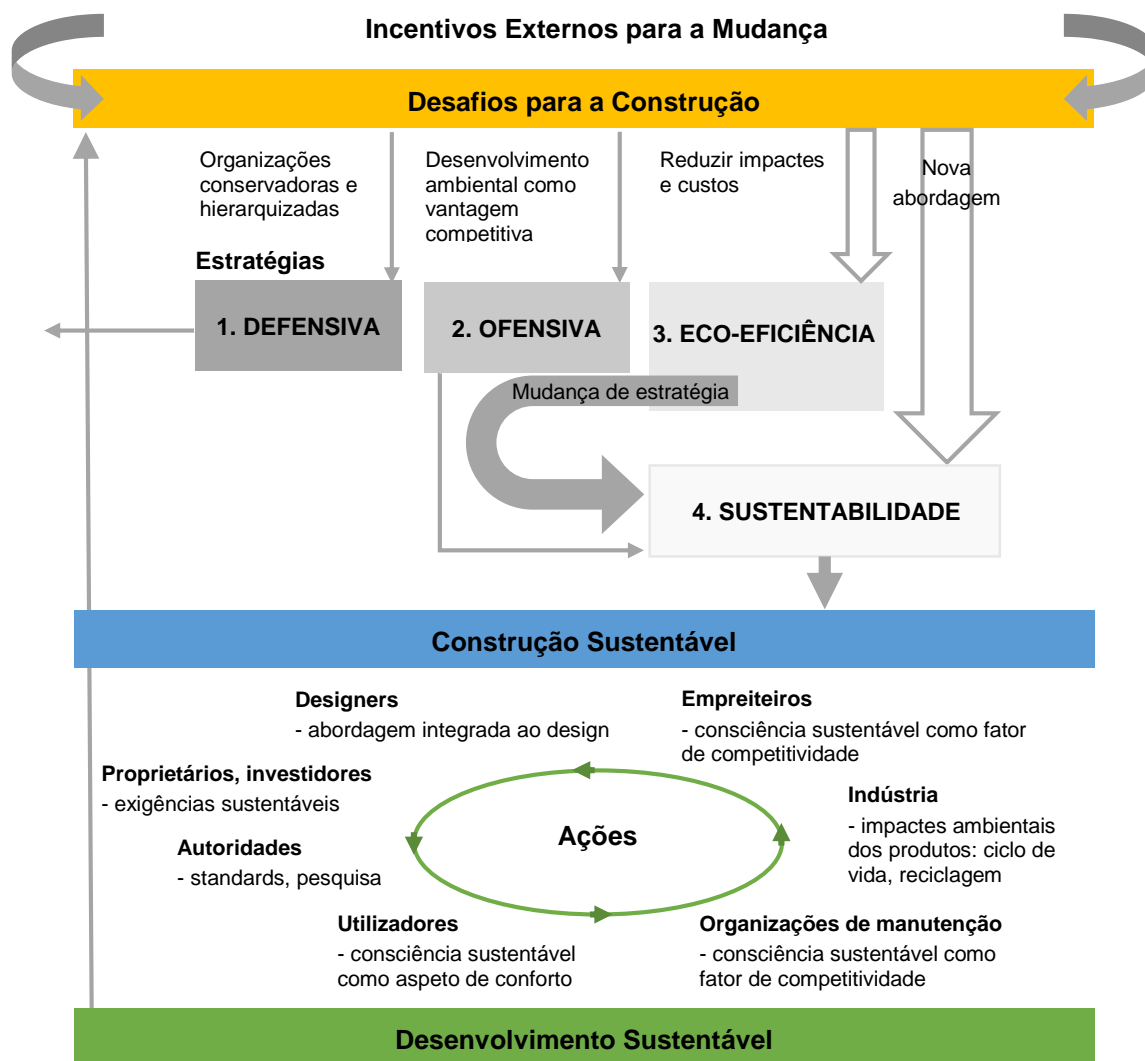


Figura 2.4 – Estratégias e ações para o desenvolvimento sustentável no setor da construção

(Adaptado de CIB, 1999)

A partir da análise da Figura 2.4 percebe-se que os incentivos externos para a mudança se defrontam com vários desafios no setor da construção, sendo necessário adotar estratégias das quais a sustentabilidade corresponde a uma nova forma de abordagem, que resultará na construção eficiente, onde a atuação dos diversos intervenientes garantirá um desenvolvimento sustentável, ultrapassando-se assim os desafios iniciais.

2.1. Edifício Enquanto Processo

Tal como um ser vivo e a maioria dos produtos, os edifícios atravessam diversas fases ao longo do tempo formando o ciclo de vida. Tecnicamente, as fases do ciclo de vida de um edifício são designadas por projeto, construção, utilização, manutenção e, por fim, desconstrução.

Tal como referido anteriormente, os edifícios possuem um ciclo de vida composto por várias etapas, e cada uma delas contribui para a insustentabilidade económica, social e ambiental de formas

distintas. Os impactes originados pela atividade da construção de edifícios ocorrem primeiramente na fase de construção, passando pela fase de utilização com as respetivas monitorizações e manutenções, terminando na desconstrução. Todas estas fases apresentam impactes que muitas vezes são logo determinados na fase de projeto (Figura 2.5).

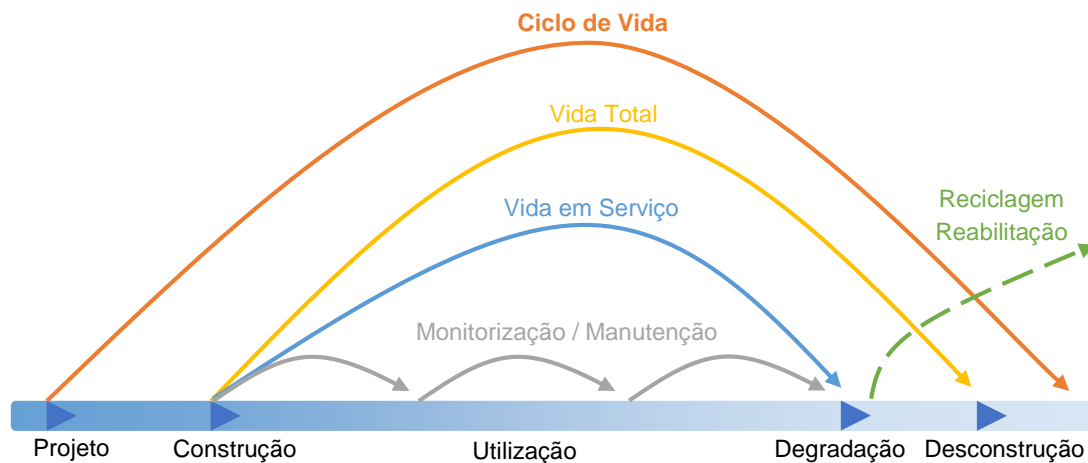


Figura 2.5 – Ciclo de vida dos edifícios – fases de intervenção
(Adaptado de Svenningsen, 2007)

- **Fase de Projeto**

O projeto é a fase inicial do ciclo de vida de um edifício e inclui o planeamento e a conceção. Nesta fase podem estar integrados o estudo prévio e o projeto de execução, com referência às diferentes condicionantes do local e da obra, sendo realizados estudos relativos à viabilidade física, económica e financeira do projeto.

Deste modo, é nesta fase que se adotam as principais decisões em relação aos impactes ambientais, tais como: a adoção de soluções passivas¹ para a conservação de energia e conforto ambiental, a elaboração de um sistema construtivo detalhado, sendo garantida a compatibilidade entre as diversas especialidades do projeto. Sendo assim, esta fase pode transformar-se na mais importante de todo o ciclo de vida, visto as opções de projeto se refletirem nas fases seguintes.

Em termos de dimensão, os impactes ambientais diretos desta fase são muito reduzidos ou praticamente insignificantes quando comparados com os das restantes fases, estado associados essencialmente aos trabalhos de conceção e levantamentos realizados.

Em síntese, a importância desta fase de projeto passa pela tomada de decisões, que podem levar a um projeto que contempla as preocupações de reduzir os impactes da construção, utilização e desconstrução, e não pelos impactes efetivamente desta fase. É portanto, a fase decisiva para os eventuais impactes futuros (Pinheiro, 2006).

¹ Soluções ou medidas passivas são soluções e medidas que não recorrem a energia para funcionarem, ou seja, processam-se naturalmente.

- **Fase de Construção**

A fase seguinte, a de construção, inclui as ações de concurso, início da construção, conclusão e recepção da obra por parte do dono de obra², ou seja, é a construção do edifício propriamente dita e a elaboração física do projeto, sendo colocadas em prática as várias medidas e estratégias definidas na fase anterior.

A fase de construção é a que apresenta impactes mais evidentes e alterações mais significativas, em curtos períodos de tempo no meio ambiente, em termos de ocupação de solo e alteração dos ecossistemas e paisagem (Figura 2.6) (Pinheiro, 2006).

- **Fase de Utilização**

A fase de utilização desenrola-se desde a recepção da obra por parte do dono de obra, até ao final da utilização do edifício, ou seja, quando este se encontra degradado. É portanto a fase que se desenrola durante mais tempo. Esta fase corresponde à utilização do edifício pelos seus ocupantes, que fazem uso do mesmo de acordo com o fim que lhe foi conferido, quer seja um edifício habitacional, comercial, industrial, etc.

Associada a esta fase estão as várias operações de manutenção e/ou monitorização (Figura 2.5). A manutenção é uma operação fundamental e compreende a execução de atividades, incluindo construtivas, que devem ter um carácter periódico e preventivo. Estas operações destinam-se a garantir a eficiência das soluções anteriormente definidas e implementadas, verificando se o seu desempenho está dentro do previsto e se os objetivos foram alcançados.

Embora os efeitos da fase de utilização sejam discretos, graduais e diferidos ao longo do período de utilização, acabam por contribuir mais para a degradação do meio ambiente do que a fase de construção, uma vez que a fase de construção está, no geral, associada a períodos de tempo mais reduzidos (meses) enquanto que a fase de utilização está associada a longos períodos de tempo (anos) (Figura 2.6). Atualmente, a maioria dos edifícios projetados tem um tempo de vida superior a 40 anos e alguns dos edifícios existentes podem ultrapassar, ou já ultrapassaram, os 100 anos (Pinheiro, 2006).

- **Fase de Desconstrução**

Quando um edifício deixa de ter a utilidade para a qual foi construído, atingindo-se um estado de degradação elevado ou não oferece condições de segurança para os utilizadores, atinge-se a última fase do ciclo de vida de um edifício – a fase de desconstrução ou demolição.

A fase de desconstrução constitui elevados impactes ambientais, dependendo da forma como a intervenção é efetuada e da presença, ou não, de uma perspetiva de reutilização ou reciclagem dos resíduos produzidos (Figura 2.6).

² O dono de obra é a entidade responsável pela encomenda das operações e pela celebração do respetivo contrato de adjudicação, coincidindo, por regra, com a entidade que detém a propriedade do edifício.

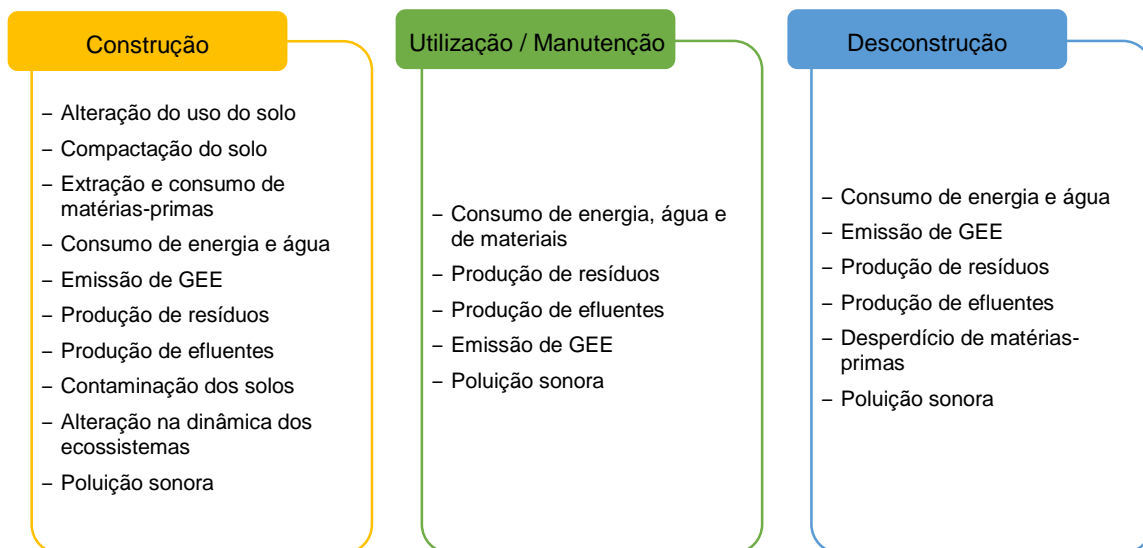


Figura 2.6 – Impactes ambientais das fases de construção, utilização/manutenção, desconstrução de edifícios

(Adaptado de Pinheiro, 2006)

Na Figura 2.5 o ciclo de vida do edifício é um ciclo fechado uma vez que, apesar de a fase de desconstrução pôr termo ao edifício, os materiais resultantes do processo de demolição são agrupados e, aqueles que reúnam condições, serão reciclados e reutilizados na construção de outros edifícios. Para além da reutilização de materiais provenientes da demolição, existe a possibilidade de proceder à reabilitação do edifício, estando associado um novo projeto a este processo e reestabelecendo-se assim um novo ciclo de vida.

Associados a este último parágrafo estão dois conceitos relacionados com os edifícios que são essenciais referir: construção nova e reabilitação de edifícios.

A construção nova, tal como o nome diz, refere-se à construção de edifícios “a partir do zero”, ou seja, desde os trabalhos de preparação do terreno de implantação do edifício, passando pelas fundações, estrutura, etc.

A reabilitação, por outro lado, pode ser definida segundo a Royal Institution of Chartered Surveyors (2001, citado por Coias, 2007) como “reparação, renovação e modificação extensas de um edifício para o pôr de acordo com critérios económicos ou funcionais equivalentes aos exigidos a um edifício novo para o mesmo fim. Pode envolver a execução de instalações e sistemas de serviços, acessos, iluminação natural, equipamento e acabamentos aproveitando apenas os toscos³ do edicício antigo”.

A reabilitação é mais complexa que a construção de novos edifícios, uma vez que, no caso da reabilitação, é necessário resolver problemas existentes no edifício de acordo com as características específicas deste. No entanto, a reabilitação tem várias vantagens ambientais em relação à demolição, uma vez que conserva parte dos materiais, reduzindo a produção de resíduos de demolição. Para além disso, com alguma probabilidade, após a demolição seguir-se-á a construção

³ Um edifício em fase de toscos é aquele que não possui revestimentos interiores nem sistemas técnicos instalados e do qual se desconhecem os detalhes de uso efetivo.

de um novo edifício, acarretando novas extrações de matérias-primas, traduzindo-se sempre em degradações significativas da paisagem, dos ecossistemas e do meio ambiente.

Os objetivos de qualquer ação de reabilitação sobre um edifício são o aumento do seu tempo de vida, através da resolução dos seus problemas construtivos, anomalias e perdas de eficiência registados ao longo dos anos, assim como melhorar as características gerais dos edifícios (Lopes, 2010).

2.1.1. Setor da Construção em Portugal

Na década de 90, Portugal atravessou um surto construtivo de grande intensidade, sendo que na segunda metade dos anos 90 o setor da construção cresceu a uma taxa de mais de 10 vezes a média da UE (Coias, 2007). No entanto, devido à crise económica que se instalou no país, esta situação inverteu-se.

O setor da construção em Portugal tem sofrido, nos últimos treze anos consecutivos, uma redução de atividade das empresas. As estatísticas identificam uma queda global da produção do setor da construção de 15% em 2013, em resultado de uma queda na produção de 18% nos edifícios residenciais, de 13,8% nos edifícios não residenciais e de 14% nas obras públicas (FEPICOP, 2014).

Contudo, em 2013 e 2014, assistiu-se aos primeiros sinais de estabilização do nível de atividade do setor, podendo considerar-se que em 2014 o decréscimo tenha sido de apenas 5%, valor ligeiramente abaixo dos anos anteriores. Um estudo realizado pela Informa D&B estima que, para além desta estabilização, em 2015 ocorra uma inversão do ciclo para o setor da construção, antecipando um crescimento de 2% (Soares, 2014).

Em 2013 o número de edifícios licenciados foi de 16.253, correspondendo a uma redução de 22,7% face ao ano anterior. No mesmo ano, o número de edifícios concluídos foi de 23.079, correspondendo a um decréscimo de 11,0% face a 2012. Na realidade, desde o ano 2000 que se tem acentuado a tendência negativa.

À semelhança dos anos anteriores, a maioria dos edifícios concluídos ou licenciados corresponderam a construções novas (70,9% e 58,2%, respetivamente). No entanto, é de evidenciar a crescente importância da reabilitação de edifícios (obras de alteração, ampliação e reconstrução de edifícios) registada desde 2008 (Figura 2.7). Apesar de em termos relativos a representatividade de obras de reabilitação ter vindo a aumentar, o mesmo não se verifica em termos absolutos, tendo-se registado uma redução de 20,4% entre 2012 e 2013. É também relevante referir o facto de que, do total de edifícios licenciados, 7,3% eram obras de demolição (INE, 2014).

Ao verificar-se uma diminuição na taxa de crescimento de edifícios residenciais (crescimento de apenas 0,3% em 2013), a reabilitação pode ser a solução para os problemas que o setor da construção residencial atravessa. De facto, devido ao deficiente estado de conservação do Parque Habitacional e à sua ineficiência no consumo de recursos, a reabilitação é uma prioridade (INE, 2013).

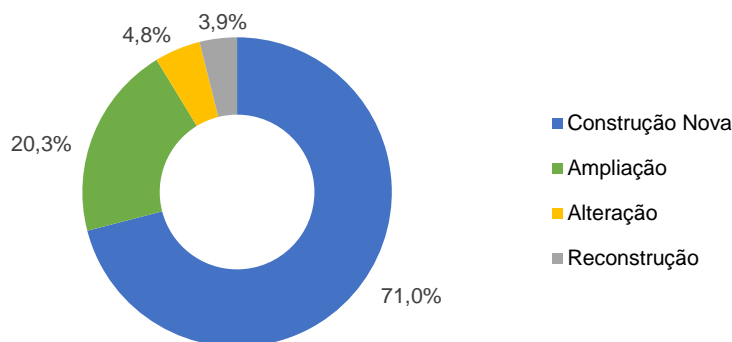


Figura 2.7 – Proporção de edifícios concluídos por tipo de obra em 2013

(Adaptado de INE, 2014)

2.1.2. O Parque Habitacional

Em 2013, existiam em Portugal cerca de 3,6 milhões de edifícios, sendo que os edifícios principalmente não residenciais não chegavam a representar 1% deste número (INE, 2012; INE, 2014). Desta forma, compreende-se a importância que os edifícios habitacionais representam para a economia do país, assim como o facto de ser este tipo de edifício o que mais contribui para os impactos ambientais.

O parque habitacional português é relativamente recente, já que cerca de 63% dos edifícios de habitação têm uma idade igual ou inferior a 40 anos (1971 – 2011). No entanto, também pode ser caracterizado como um parque habitacional envelhecido e degradado, uma vez que cerca de 30% dos edifícios necessitam de intervenções de reparação. Apesar desta percentagem significativa de edifícios de habitação com necessidades de reparação, este valor tem vindo a diminuir, sendo que em apenas 10 anos o valor diminuiu de 40% para 30% (2001 – 2011) (INE, 2012).

Em comparação com outros países, o parque habitacional português é um dos mais recentes da Europa, onde 50% dos alojamentos existentes foram construídos antes de 1975 (WBCSD, 2009).

Embora se dê cada vez maior importância à qualidade das construções, continua a verificar-se que “o parque imobiliário português apresenta problemas de degradação construtiva e funcional, em certos casos de alguma gravidade, derivados do reduzido investimento na sua manutenção periódica ao longo de várias décadas e dos erros e atropelamentos que têm sido cometidos no processo de construção” (Paiva, 2003 citado por Lopes, 2010). Na realidade, são inúmeros os alojamentos que não oferecem as condições de habitabilidade e conforto desejadas pelos seus utilizadores, no entanto, esta realidade verifica-se em edifícios recentes e antigos, degradados e não degradados ou em que são visíveis ou não as necessidades de reparação.

Os principais problemas, que comprometem as características de saúde e conforto das habitações, são uma deficiente qualidade térmica, fraca eficiência energética, deficiente isolamento acústico, fraca qualidade do ar interior devido à falta de ventilação natural ou mecânica, fraca salubridade ambiental e problemas espaciais devido às dimensões e disposição incorretas dos espaços.

2.2. A Construção Sustentável e os Edifícios

A maioria da população mundial vive e trabalha em edifícios, e cada vez mais os tempos de lazer são passados em espaços construídos, demonstrando a importância destas estruturas no setor da construção. Na Europa, as pessoas passam em média 80 a 90% do tempo dentro de edifícios (Pinheiro, 2006).

O setor da construção dedicado aos edifícios tem sido fortemente influenciado pelo crescimento da população mundial, que é cada vez mais evoluída a nível tecnológico e estabelece padrões de conforto cada vez mais exigentes, procurando melhores condições de vida. A população mundial dobrou em apenas 60 anos (1950-2010) estimando-se um total de 7,2 biliões de pessoas no ano de 2014 e prevendo-se atingir 8,1 biliões em 2025 e 9,6 biliões em 2050 (UN, 2014a). Para além de outras consequências, o rápido crescimento demográfico a nível mundial faz crescer a necessidade de habitação, de espaços de lazer e de locais de trabalho, que maioritariamente decorrem em edifícios. Para além da necessidade de um maior número de edifícios, aumentam também os consumos de energia, água, solo e recursos, os quais originam impactes ambientais significativos.

Para além da questão do crescimento populacional a nível mundial, tem-se assistido a uma intensa urbanização e migração da população para as zonas mais desenvolvidas, ou seja, as cidades. Estes factores exercem uma enorme pressão no meio ambiente uma vez que levam ao esgotamento dos recursos e ao aumento da quantidade de resíduos produzidos.

Os interesses económicos aliados à necessidade de se construírem edifícios em pouco tempo provocaram um abandono de algumas técnicas de construção dos povos antigos que adaptavam os edifícios à região onde eram construídos. A despreocupação com estas questões fez com que os edifícios não tenham qualidade, não respondendo às necessidades de conforto térmico dos seus ocupantes e não aproveitando as características naturais dos locais em que se inserem, levando à necessidade de recorrer a soluções tecnológicas, como por exemplo sistemas de iluminação e climatização artificiais, que conduzem a um aumento dos consumos energéticos dos edifícios. As questões de qualidade do ar interior e do conforto acústico são também muitas vezes ignoradas.

O setor da construção de edifícios é ainda responsável por um elevado consumo de recursos materiais. Esta situação verifica-se devido à escassa utilização de materiais mais sustentáveis, de origem natural e local, com baixo valor de energia incorporada⁴, reutilizáveis e/ou recicláveis (Lucas, 2011).

Por fim, o facto de não existirem adequados planos de gestão ambiental durante a construção, utilização e desconstrução dos edifícios, leva à produção de elevadas quantidades de resíduos, contribuindo para o impacto ambiental.

A nível mundial, os edifícios são responsáveis por 40% do consumo de energia, utilização de 20% da água, 10% do espaço e 30% dos recursos naturais utilizados. Para além destes consumos, os

⁴ O valor de energia incorporada num material corresponde à energia utilizada desde a extração da matéria-prima até ao produto final do material, pronto a ser utilizado.

edifícios são responsáveis pela emissão de 40% das emissões de CO₂, pela produção de 30% dos resíduos sólidos e 20% de efluentes (Svenningsen, 2007).

Em Portugal, assim como nos restantes países da Europa, o setor doméstico é um dos principais consumidores de recursos, como são o caso dos recursos hídricos e energéticos. O consumo elevado destes recursos está associado, tal como referido anteriormente, às necessidades atuais da população que procura aumentar os níveis de qualidade de vida e conforto do interior das suas habitações. Infelizmente, a maioria dos edifícios de habitação construídos nas últimas décadas não responde às necessidades de conforto térmico, conforto acústico e qualidade do ar.

Por todos os motivos apresentados anteriormente, é imprescindível que o Homem altere os seus hábitos. É necessário que o caminho que tem vindo a ser traçado se inverta, por forma a atingir um equilíbrio entre a preocupação com a satisfação das necessidades e bem-estar da população mundial e a procura constante da preservação do meio ambiente (Ferreira, 2010).

De facto, ao gerir corretamente o setor da construção de edifícios, em especial de edifícios de habitação, consegue-se caminhar para um mundo sustentável. A construção sustentável de edifícios de habitação é a área-chave para atingir o desenvolvimento sustentável numa sociedade. Na realidade, optar por uma construção de edifícios mais sustentável permite atingir uma melhoria na qualidade de vida da população devido a uma menor poluição ambiental, maior conforto e qualidade no interior dos edifícios.

Assim, as principais metas de sustentabilidade ligadas à construção de edifícios, em especial, de habitação, são:

- Consumo eficiente de energia;
- Aproveitamento de energias renováveis;
- Redução da emissão de GEE;
- Consumo eficiente de água;
- Reutilização e reciclagem dos resíduos produzidos durante a construção, utilização, manutenção e demolição dos edifícios;
- Melhoria da qualidade do ar interior e desempenho acústico do edifício.

3. Implementação da Construção Sustentável

Através do subcapítulo 2 conclui-se que são as questões ligadas aos impactes ambientais as que mais condicionam o setor da construção, quando se pretende atingir o desenvolvimento sustentável. Questões como a densidade e demografia da população, economia nacional e nível de vida, geografia, disponibilidade de solo e água, produção e abastecimento de energia, a estrutura do setor da construção ou a qualidade dos edifícios existentes são algumas das questões a que o setor da construção tem de responder, através da criação de modelos de construção sustentável de edifícios (CIB, 1998).

O desafio passa então por perceber que tipo de edifícios devem ser construídos e como se devem adaptar os existentes, por forma a obter edifícios eficientes, permitindo assegurar os níveis de qualidade de vida de uma população crescente e com maiores exigências para o seu bem-estar.

As áreas de intervenção que têm como objetivo a melhoria da sustentabilidade dos edifícios são inúmeras e todos os dias surgem novas soluções e novas tecnologias de construção que procuram contribuir para um modelo de construção sustentável.

Para se atingir a construção sustentável de um edifício é necessário, ao longo de todo o ciclo de vida do mesmo, analisar uma série de fatores que podem influenciar e contribuir para a sustentabilidade do mesmo para que, posteriormente, seja possível desenvolver um conjunto de metodologias operativas a implementar nas diversas fases do ciclo de vida. Este processo de implementação da construção sustentável é o modelo de construção sustentável mais eficaz, uma vez que assenta numa lógica de construção precedida por um planeamento que tem em consideração o respeito pelo ambiente através da minimização dos impactos da construção, ao mesmo tempo que garante a melhoria do conforto ambiental no interior do edifício. Este processo, para além das diversas fases do ciclo de vida do edifício, contempla ainda as fases anteriores à fase de projeto propriamente dita, propondo uma pré avaliação e análise de vários fatores, tal como apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Pontos a analisar nas diversas fases do processo de construção sustentável
(Adaptado de Amado, 2007, citado por Ganhão, 2011)

Fases do Processo	Pontos a Analisar
Avaliação do projeto pretendido	<ul style="list-style-type: none"> - Definição dos fins em termos de uso - Definição dos requisitos socioculturais - Avaliação do conforto ambiental pretendido - Avaliação energética para a maximização da eficiência
Análise do espaço envolvente	<ul style="list-style-type: none"> - Localização - Orientação solar - Ventos predominantes - Pluviosidade - Ruído - Poluição - Características do ecossistema envolvente
Projeto	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiência energética - Qualidade do ar interior - Sistema para diminuição do consumo de água potável - Redução/reutilização de resíduos - Conforto ambiental interior - Segurança dos ocupantes - Sistema construtivo que permita alteração do espaço interior - Acessibilidades
Construção	<ul style="list-style-type: none"> - Redução do impacto no espaço envolvente - Controlo/otimização de materiais - Seleção de materiais mais ecológicos, produzidos mais perto do local da obra

Tabela 2.2 – Pontos a analisar nas diversas fases do processo de construção sustentável

(Adaptado de Amado, 2007, citado por Ganhão, 2011)

Fases do Processo	Pontos a Analisar
Utilização	<ul style="list-style-type: none">- Manual de utilização do edifício- Lista de materiais mais utilizados/lista de fornecedores- Controlo da utilização dos espaços
Monitorização/Manutenção	<ul style="list-style-type: none">- Avaliação da eficiência do edifício em espaços de tempo pré-definidos- Comparação entre os vários períodos- Correção em caso de mau funcionamento
Desconstrução	<ul style="list-style-type: none">- Manual de procedimentos- Listagem de materiais a reciclar, reutilizar e a eliminar- Riscos no procedimento

As fases de projeto e de construção podem ser consideradas as duas fases mais importantes de todo o ciclo de vida de um edifício, uma vez que é nestas alturas que se tomam e põem em prática as decisões que irão ter repercussões nas restantes fases, tornando os edifícios, através de medidas acertadas, em edifícios mais sustentáveis.

Posteriormente ao processo de análise, é necessário implementar ações nas diversas fases do ciclo de vida e que deem resposta aos vários pontos examinados. As ações a adotar nas fases de projeto e construção devem incluir soluções construtivas ecológicas que melhorem o conforto ambiental no interior dos edifícios, incidindo nas questões da iluminação, ventilação, temperatura, qualidade do ar e ruído.

Em relação à fase de utilização é necessário alterar a habitual deficiente utilização dos equipamentos e espaços. Para isso, é essencial investir em ações que promovam a formação dos utilizadores a esse respeito recorrendo, por exemplo, a manuais de utilização.

Ao nível da manutenção, devem privilegiar-se ações de fácil aplicação e execução que promovam a gestão e conservação do edifício, de modo a prolongar o seu tempo de vida médio (Amado, 2007 citado por Ganhão, 2011).

As medidas aplicadas ao longo da fase de vida de um edifício devem dar prioridade às áreas da energia, da água, da ocupação do solo e dos materiais, com os consequentes resíduos. A Tabela 2.3 faz referência a diversas questões principais que pretendem dar resposta, através de várias estratégias, aos diversos problemas das áreas prioritárias anteriormente referidas.

Tabela 2.3 – Aspectos relevantes da construção sustentável

(Adaptado de CIB, 1998)

Área	Questões Principais	Estratégias
Energia	Edifícios energeticamente eficientes	<ul style="list-style-type: none"> - Desenho integrado para a eficiência energética - Utilização de fontes de energia renováveis - Garantia da qualidade do ambiente interior - Consumo eficiente de energia - Redução da emissão de GEE
	Otimização de aquecimento/arrefecimento/iluminação	<ul style="list-style-type: none"> - Construção bioclimática - Iluminação natural/Iluminação passiva - Aquecimento/arrefecimento passivo - Otimização da massa do edifício
	Otimização da performance energética dos edifícios existentes	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas recuperadores de calor - Promoção de sistemas solares
	Redução dos consumos de energia	<ul style="list-style-type: none"> - Melhoramento da eficiência energética dos edifícios existentes - Utilização de aparelhos energeticamente eficientes
Água	Conservação da água potável	<ul style="list-style-type: none"> - Equipamentos de poupança de água integrados - Reutilização das águas cinzentas⁵
	Otimização do consumo de água	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo eficiente de água - Utilização das águas pluviais
	Permeabilidade do solo	<ul style="list-style-type: none"> - Soluções construtivas que minimizem a perda de permeabilidade do solo
Ocupação do solo	Uso eficiente do solo	<ul style="list-style-type: none"> - Edifícios multifuncionais - Adaptação e regeneração dos edifícios existentes
	Uso intensivo do solo	<ul style="list-style-type: none"> - Coberturas planas com propósitos recreativos - Construção subterrânea
	Longevidade dos edifícios	<ul style="list-style-type: none"> - Desenho com vista à flexibilidade/adaptabilidade - Desenho com vista a um desempenho de elevada qualidade durante todo o ciclo de vida - Compreensão das necessidades e requisitos dos utilizadores
	Escolha do local	<ul style="list-style-type: none"> - Consideração do ambiente local (clima, topografia, impacte visual, ruído, economia local)
	Melhoramento do uso dos edifícios existentes	<ul style="list-style-type: none"> - Reativação/conversão de edifícios não funcionais - Aumento das atividades de reabilitação e recuperação

⁵ Água cinzenta é qualquer água residual, não-industrial, obtida através de processos domésticos como lavar a louça, roupa e tomar banho, não incluindo as águas fecais.

Tabela 2.2 – Aspetos relevantes da construção sustentável
(Adaptado de CIB, 1998)

Área	Questões Principais	Estratégias
Materiais	Gestão dos resíduos	<ul style="list-style-type: none"> – Sistemas integrados de recolha de resíduos – Redução da quantidade de resíduos produzidos
	Materiais de construção duráveis	<ul style="list-style-type: none"> – Sistemas de revestimento duráveis
	Materiais não-tóxicos e controlo climático	<ul style="list-style-type: none"> – Maior consideração da toxicidade dos materiais para a saúde e ambiente – Utilização de materiais com baixa emissão de gases
	Edifícios recicláveis/reutilizáveis	<ul style="list-style-type: none"> – Desenho com consideração do destino final do edifício
	Utilização eficiente de matérias-primas	<ul style="list-style-type: none"> – Utilização de materiais locais e métodos de construção tradicionais – Materiais renováveis ou recicláveis – Materiais com baixo valor de energia incorporada
	Materiais reciclados	<ul style="list-style-type: none"> – Reutilização dos resíduos produzidos durante as várias etapas do ciclo de vida do edifício
	Aumento da vida útil dos edifícios	<ul style="list-style-type: none"> – Sistemas de suporte à decisão entre a demolição ou reutilização de edifícios – Adaptação dos edifícios às futuras necessidades dos ocupantes – Programas de manutenção e reabilitação planeados

Através da Tabela 2.3 conclui-se que as estratégias utilizadas para a obtenção de edifícios sustentáveis se podem agrupar em áreas-chave de atuação, identificando-se as energias renováveis, construção bioclimática, equipamentos energeticamente eficientes, multifuncionalidade de espaços, materiais de construção e água. Cada uma destas áreas-chave subdivide-se em várias medidas de atuação que tem como propósito a contribuição para a construção sustentável.

Assim sendo, um dos objetivos da construção sustentável é construir um edifício ou uma fração do edifício sem prejudicar o ambiente, tentando atingir condições de temperatura, conforto e humidade relativa que resultem num aumento da qualidade de vida dos ocupantes.

3.1. Iniciativas que Fomentam a Construção Sustentável

Com a consciencialização da crise global a nível ambiental, social e económico, os países desenvolvidos começaram a procurar meios para incentivar/obrigar os projetistas, empreiteiros e proprietários a adotar medidas de construção sustentável.

Assim, têm sido criados sistemas e ferramentas que permitem fomentar, avaliar e reconhecer a construção sustentável, com o objetivo de garantir a sustentabilidade dos edifícios durante todo o seu ciclo de vida e melhorando a integração entre os parâmetros ambiental, social e económico.

De entre as diversas iniciativas que fomentam a construção sustentável destacam-se as iniciativas globais ou nacionais, legislação e regulamentos, normalização, sistemas de avaliação e certificação voluntários e diversas ferramentas de apoio (aplicações informáticas e equipamentos).

Nos últimos anos foi criado ou atualizado um significativo número de documentos legislativos, regulamentares, normativos e sistemas voluntários, o que traduz o aumento da importância do tema da construção sustentável para as sociedades, refletindo a tomada de consciência por parte da população dos problemas do desenvolvimento não sustentável.

Em Portugal o cenário é semelhante, sendo que, por exemplo, desde 2013 a maioria dos edifícios novos e existentes são obrigados a ter um Certificado Energético, como será explicado nos pontos seguintes.

3.1.1. Legislação, Regulamentação e Normas

Devido à existência de uma vasta lista de legislação, normalização e regulamentação a nível internacional e nacional, apenas se fará referência aos principais documentos europeus com influência em Portugal e aos documentos aplicados em Portugal.

Um dos principais documentos legislativos com influência na implementação da construção sustentável é a *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD recast)* – Directive 2010/91/EU, adotada pelo Parlamento Europeu e pelo Conselho da União Europeia que substitui a Directive 2002/91/EC. Esta nova diretiva obriga os Estados-Membros da União Europeia a atingir requisitos mínimos de desempenho energético nos edifícios e elementos construtivos da envolvente, a incentivar a transformação de edifícios existentes em edifícios de muito baixo balanço energético⁶, a recorrer a métodos de cálculo do desempenho energético, a certificar o desempenho energético, a inspecionar periodicamente sistemas e equipamentos, entre outros (ADENE, 2012; ECEEE, 2011).

Um dos principais desafios traçados pela EPBD *recast* é de que depois de 2020 todos os edifícios novos têm de apresentar um balanço energético próximo de zero (NZEB – *Nearly Zero Energy Building*) e uma grande parte da energia consumida terá de derivar de energias renováveis (Directive 2010/31/EU de 19 de Maio, 2010; ADENE, 2012).

Para que a diretiva fosse implementada em Portugal foi transposta através do Decreto-Lei n.º 118/2013. Este documento também aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Estes três últimos documentos visam assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios. Desde 2013 que todos os edifícios novos, todos os edifícios sujeitos a grandes

⁶ O balanço energético é a relação entre entradas e saídas de energia de uma zona determinada e num dado período de tempo.

intervenções de reabilitação, os edifícios de comércio e serviços existentes, os edifícios que sejam propriedade de uma entidade pública e todos os edifícios existentes sujeitos a processos de venda ou locação são obrigados a possuírem um Certificado Energético (Decreto-Lei n.º 118/2013, 2013). Para além dos documentos atrás mencionados, é importante referir ainda a existência dos documentos apresentados na Tabela 2.4, que através da sua aplicação se promove o objetivo de reforço da eficiência energética.

Tabela 2.4 – Listagem de diretivas e regulamentos relacionados com a construção sustentável

(Adaptado de Diretiva 2012/27/UE, 2012; Regulamento (UE) n.º 305/2011, 2011; Decreto-Lei n.º 9/2007, 2007; Decreto-Lei n.º 96/2008, 2008; Decreto-Lei n.º 73/2011, 2011)

Designação	Objetivos / Conteúdo
Energy Efficiency Directive (2012/27/EU)	<ul style="list-style-type: none"> - Controlar o consumo de energia na Europa - Aumentar a eficiência energética a fim de realizar o objetivo de economizar 20% do consumo de energia primária até 2020 - Reduzir as emissões de GEE provenientes da geração e consumo de energia e a dependência dos estados-membros nas importações de combustíveis fósseis - Atingir uma meta de 20% de energia consumida proveniente de fontes renováveis até 2020
Construction Products Regulation (Regulation (EU) n.º 305/2011)	<ul style="list-style-type: none"> - Assegurar a proteção da saúde, do ambiente e dos trabalhadores quando estes utilizam produtos de construção - Estabelecer condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção - Exigir que a colocação no mercado de um produto de construção seja acompanhada de uma declaração de desempenho do produto de construção (DoP) em função das suas características essenciais
RGR Regulamento Geral do Ruído (Decreto-Lei n.º 9/2007)	<ul style="list-style-type: none"> - Estabelece o regime de prevenção e controlo da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações - Estabelece valores limite de exposição a ruído e os parâmetros para a aplicação do critério de incomodidade

Tabela 2.3 – Listagem de diretivas e regulamentos relacionados com a construção sustentável
 (Adaptado de Diretiva 2012/27/UE, 2012; Regulamento (UE) n.º 305/2011, 2011; Decreto-Lei n.º 9/2007, 2007; Decreto-Lei n.º 96/2008, 2008; Decreto-Lei n.º 73/2011, 2011)

Designação	Objetivos / Conteúdo
RRAE Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 96/2008)	<ul style="list-style-type: none"> - Regular a vertente do conforto acústico dos edifícios, contribuindo para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar e saúde dos ocupantes, tanto em edifícios novos como em edifícios existentes que venham a ser objeto de reconstrução, ampliação ou alteração - Impõe parâmetros de desempenho acústico dos edifícios, índices de isolamento sonoro, indicadores do ruído de equipamentos e instalações - Estabelece os procedimentos de avaliação de conformidade de acordo com as normas definidas no RGR
Regime Geral de Gestão de Resíduos	<ul style="list-style-type: none"> - Prevenir ou reduzir a produção de resíduos, as suas características nocivas e os impactes adversos decorrentes da sua produção e gestão - Diminuir os impactes associado à utilização dos recursos, de forma a melhorar a eficiência da sua utilização e a proteção do ambiente e da saúde humana - Estabelece o regime geral aplicável à prevenção, produção e gestão de resíduos - Fixa um aumento mínimo de 70% em peso relativamente à preparação para a reutilização, reciclagem e outras formas de valorização material, incluindo operações de enchimento que utilizem resíduos como substituto de outros materiais, resíduos de construção e demolição não perigosos - Obriga a utilização de pelo menos 5% de materiais reciclados relativamente à quantidade total de matérias-primas usadas em obra

Por último, em relação à normalização internacional e europeia, existe também um número bastante elevado deste tipo de documentos. Desta forma, apenas se faz referência aos mais relevantes, indicando-se quais os pontos de aplicação no processo da construção sustentável (Tabela 2.5):

Tabela 2.5 – Principais normas internacionais
 (Adaptado de ISO, 2015; AFNOR Normalisation, 2012)

Designação	Aplicação
ISO / TC 59 / SC 17	<ul style="list-style-type: none"> - Declaração ambiental de produtos de construção - Desempenho ambiental de edifícios - Trabalhos de engenharia civil
ISO 15392:2008	<ul style="list-style-type: none"> - Princípios gerais para a sustentabilidade na construção de edifícios - Ciclo de vida dos edifícios
CEN/TC 350	<ul style="list-style-type: none"> - Métodos voluntários para a avaliação dos aspetos de sustentabilidade em obras de construção de edifícios novos ou existentes - Normas para a declaração ambiental de produtos de construção

As normas atrás referidas subdividem-se numa extensa lista de outras normas, que ao longo dos anos foram sendo desenvolvidas para que fosse possível procurar atingir a construção sustentável e o desenvolvimento sustentável.

i) SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

O Sistema de Certificação Energética dos Edifícios é um instrumento de política energética cuja implementação deriva da Diretiva 2010/91/EU. A implementação deste sistema tem contribuído para o aumento da consciencialização dos temas relacionados com a eficiência energética e utilização de energias renováveis nos edifícios, assumindo-se hoje como um importante mecanismo de informação e diferenciação entre edifícios a nível nacional.

A realização da certificação energética é da responsabilidade, em primeiro lugar, dos proprietários dos imóveis, sendo realizada por Peritos Qualificados (PQ) e Técnicos de Instalação e Manutenção (TIM). Desta forma, estão abrangidos pelo Sistema Nacional de Certificação Energética (desde 2013), os seguintes imóveis:

- Todos os edifícios novos;
- Todos os edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, na envolvente ou nas instalações técnicas do edifício e cujo custo seja superior a 25% do valor do edifício;
- Os edifícios de comércio e serviços existentes com área interior útil de pavimento igual ou superior 500m² ou 1000m², dependendo do comércio ou serviço;
- Todos os edifícios existentes aquando da celebração de contratos de venda e de locação, incluindo o arrendamento.

Existem dois tipos distintos de certificados energéticos SCE: um para edifícios de habitação e outro para edifícios de comércio e serviços. As diferenças entre os dois tipos de certificado são significativas, por isso, daqui para a frente apenas se descreverá o certificado energético de edifícios de habitação. Este sistema de certificação baseia-se na comparação entre os valores calculados do desempenho do edifício e valores de referência calculados em condições padrão.

Os parâmetros avaliados e apresentados no certificado energético SCE apresentam-se na lista seguinte:

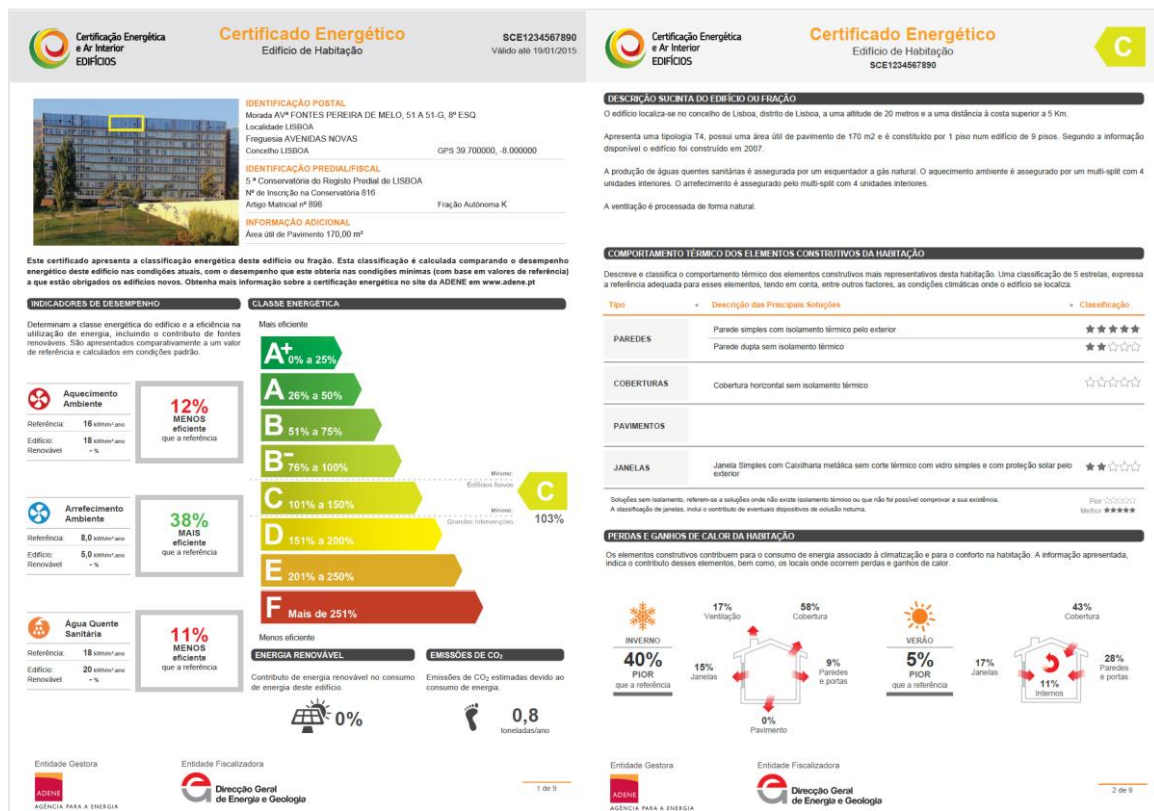
- Consumo de energia final resultante do aquecimento e arrefecimento do ambiente;
- Quantidade de energia renovável consumida;
- Emissões de CO₂ estimadas devido ao consumo de energia;
- Comportamento térmico dos elementos construtivos (paredes, coberturas, pavimentos e janelas) com descrição e classificação qualitativa dos mesmos;
- Desempenho nas principais estações do ano;
- Locais/meios (ventilação, janelas, cobertura, paredes e portas, pavimento, internos) e dimensão (em percentagem) por onde ocorrem as perdas e ganhos de calor;
- Algumas medidas de melhoria identificadas com informação do nível de investimento, poupança estimada e nova classe energética;

- Informação útil sobre a importância dos sistemas técnicos e a sua manutenção
- Resumo dos principais indicadores e dados climáticos considerados na avaliação.

No final da avaliação, a classificação traduz-se em classes de desempenho que vão desde a letra F até à A+, em que a F representa a classe menos eficiente e a A+, a classe mais eficiente, tal como representado na Figura 2.8 (Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013, 2013).

A classe energética é determinada através do rácio entre o valor das necessidades nominais anuais de energia primária e o valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária, ambos calculados de acordo com o disposto no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação.

Atualmente, para que se possam atingir os objetivos traçados pela diretiva 2010/91/EU, as classes energéticas mínimas que devem ser apresentadas são a C, no caso de edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções, e a B- no caso de edifícios novos (ADENE, 2015).



3.1.2. Sistemas de Avaliação da Construção Sustentável

A função da avaliação da sustentabilidade é reunir dados e reportar informações que servirão de base aos processos de decisão, que decorrem durante as diversas fases do ciclo de vida de um edifício. O nível de sustentabilidade de um edifício resulta de um processo no qual os fatores mais importantes são identificados, analisados e avaliados.

A maioria dos sistemas de avaliação da construção sustentável dos edifícios baseia-se numa série de indicadores que se subdividem em diversos parâmetros que se enquadram nos diversos requisitos para o desenvolvimento sustentável, tais como os aspetos relativos aos aspetos construtivos, climatéricos e ambientais, tendo em atenção o interior dos edifícios, a sua envolvente e a relação entre ambos. Os indicadores permitem avaliar o comportamento de uma solução em relação a um ou mais objetivos do desenvolvimento sustentável, enquanto que os parâmetros são propriedades mensuráveis ou observáveis que fornecem informações acerca de fenómenos, ambientes ou áreas. A estes indicadores e parâmetros estão associados diferentes fatores de ponderação, que dependem do contexto político, tecnológico, cultural, social e económico de cada país ou de cada região.

Um certificado de construção sustentável é como que um atestado, emitido por uma entidade credível, que afere se um determinado edifício detém um dado grau de eficiência e desempenho relativamente a um conjunto de parâmetros e premissas pré-definidas. Deste modo, um sistema de certificação pode garantir um rótulo ambiental que funciona como um símbolo de confiança relativo ao grau de sustentabilidade e desempenho de um edifício. Assim, através da certificação sustentável, é possível contribuir para uma melhoria eficaz das condições de habitabilidade, sociais e ambientais.

Apesar de existir uma série de ferramentas e sistemas para a avaliação da sustentabilidade desenvolvidos e em fase de desenvolvimento, nenhuma das ferramentas ou sistemas é amplamente aceite. O maior problema deve-se à subjetividade associada ao conceito sustentabilidade, motivada principalmente pelas diferenças políticas, tecnológicas, culturais, sociais e económicas, existentes entre países e os diversos locais.

Diversos países desenvolveram o seu próprio sistema de avaliação da construção sustentável, de modo a poderem contemplar a sua legislação local, regulamentos e soluções construtivas com base nos materiais e técnicas.

Alguns sistemas de avaliação existentes e aplicados, atualmente, são:

- *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), desenvolvido no Reino Unido;
- *Haute Qualité Environnementale* (HQE), desenvolvido em França;
- *Leadership in Energy & Environmental Design* (LEED), desenvolvido nos Estados Unidos da América;
- *Green Building Challenge* (GBC), desenvolvido inicialmente no Canadá e com implementação através do SBTool;
- *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency* (CASBEE), desenvolvido no Japão;
- *National Australian Built Environment Rating System* (NABERS), desenvolvido na Austrália

Contudo, os sistemas de avaliação mais relevantes e com maior aplicabilidade internacionalmente são o BREEAM, o LEED e o SBTool.

No contexto nacional, destacam-se dois sistemas de avaliação da construção sustentável:

- Sistema Voluntário para a Avaliação da Construção (LiderA), desenvolvido no Instituto Superior Técnico, em 2005;
- Sistema de Avaliação e Certificação ECO, desenvolvido pelo Grupo de Estudos de Ordenamento do Território e Planeamento Urbano da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, em 2012.

i) Sistema BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method

O sistema de avaliação BREEAM foi criado no Reino Unido pelo governo britânico, em parceria com a indústria e o setor privado, no início da década de 1990, tratando-se do primeiro método de avaliação de desempenho ambiental de edifícios, com o objetivo da especificação e avaliação de desempenho dos mesmos (Lowe & Ponce, 2009; BRE, 2015).

Dos diversos sistemas de avaliação BREEAM, apenas será descrito o dedicado aos edifícios de habitação novos, ou seja, o *Code for Sustainable Homes*⁷. Neste sistema, a avaliação baseia-se na atribuição de créditos ao edifício, sempre que cumpra determinados requisitos, organizados em categorias. A cada categoria está associado um peso específico, consoante a importância atribuída pelo sistema ao tipo de uso do edifício em causa, neste caso, habitacional (Figura 2.9).

Cada uma destas categorias está dividida em subcategorias, às quais são atribuídos créditos e onde são definidos os requisitos que o edifício deverá cumprir. A soma do conjunto de créditos e pesos das categorias permitem a obtenção do índice de desempenho ambiental do edifício (Communities and Local Government, 2010).

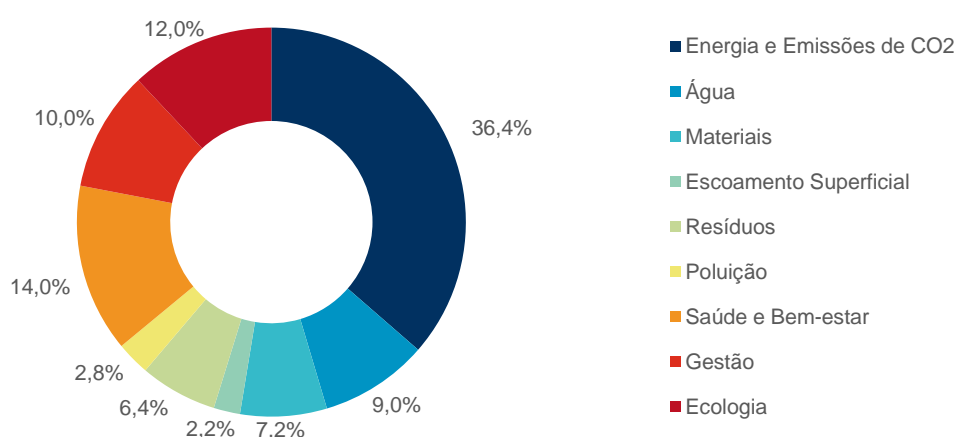


Figura 2.9 – Peso (em percentagem) de cada uma das categorias na avaliação ambiental de habitações segundo o *Code for Sustainable Homes*

(Adaptado de Communities and Local Government, 2010)

⁷ Esta política foi revogada a 27 de Março de 2015, não tendo sido aprovada uma nova versão à data da realização desta dissertação.

ii) Sistema LEED – Leadership in Energy & Environmental Design

O Sistema de avaliação LEED foi criado nos Estados Unidos da América, pelo U.S. Green Building Council (USGBC), em 1994. Das diversas versões de sistemas de avaliação LEED, apenas será descrito o dedicado aos edifícios de habitação, ou seja, LEED *Homes*. Este sistema é constituído por uma lista de verificação, representada por várias áreas gerais que se decompõem em áreas específicas e, alguns casos, em pré-requisitos. Cada área específica contribui com um ou dois pontos e os pré-requisitos são de cumprimento obrigatório. A contabilização dos pontos é feita através da soma simples dos critérios cumpridos. O total de pontos obtidos corresponde a um tipo de certificação que se hierarquiza segundo o número de pontos atingidos (USGBC, 2015).

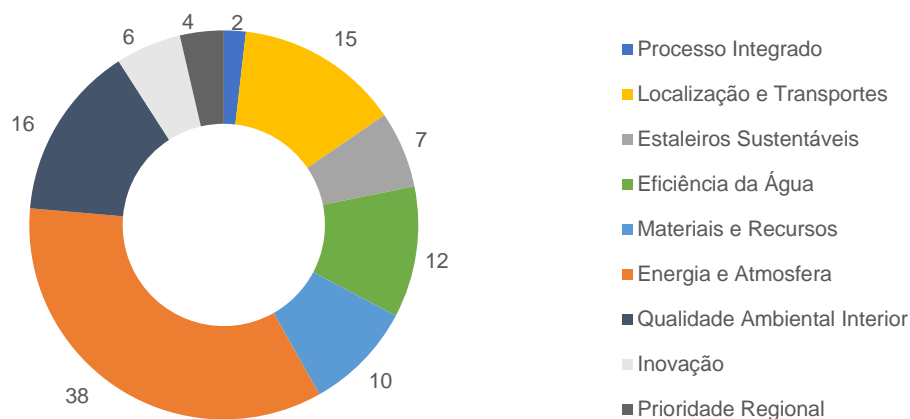


Figura 2.10 – Peso (em pontos) de cada uma das categorias de avaliação ambiental de habitações segundo o LEED Homes

(Adaptado de USGBC, 2013)

iii) Sistema SBTool – Sustainable Building Tool

O sistema de avaliação e certificação GBC começou a ser desenvolvido em 1996 pelo governo do Canadá numa parceria com vários países. Este método é caracterizado por ciclos consecutivos de difusão e pesquisa de resultados. Posteriormente, a gestão deste sistema passou para a iiSBE, que alterou a designação deste sistema para SBTool, deixando de existir e denominação GBC.

O último ciclo resultou no SBTool 2014, tratando-se da versão mais recente deste sistema. O SBTool permite avaliar o desempenho ambiental e energético de edifícios de diferentes tipos (residencial, comercial, de escritórios, entre outros), em fases distintas de desenvolvimento (pré-projeto, projeto, construção e utilização) e segundo o tipo de processo de construção (construção nova e renovação), através da alteração dos parâmetros introduzidos. Este sistema apresenta uma estrutura global com a possibilidade de ser adaptada ao tipo de edifício, fase do ciclo de vida, tipo de construção, características nacionais e da região. Para além da possibilidade de alteração da estrutura, as equipas responsáveis pelas avaliações podem ainda alterar o peso a atribuir a um determinado parâmetro, de acordo com as características e necessidades da região em causa.

O SBTool estrutura a avaliação em quatro níveis hierárquicos, para que os níveis superiores resultem da agregação dos pesos dos níveis inferiores. Sendo assim, os níveis considerados são: questões de desempenho, categorias de desempenho, critérios de desempenho e subcritérios de desempenho. O número de critérios de desempenho ativos varia consoante a fase do ciclo de vida considerada e segundo a extensão do sistema (*Developer, Maximum, Mid-size* ou *Minimum*). Na Tabela 2.6 são apresentadas as questões de desempenho e respetivas categorias de desempenho genéricas, independentemente do tipo de edifício, tipo de construção ou fase do ciclo de vida (Pinheiro, 2006; Larsson, 2014).

Tabela 2.6 – Questões de desempenho do SBTool 2014 Genérico
(Adaptado de Larsson, 2014)

Questão de Desempenho	
Pré-projeto	S – Localização do lote, serviços disponíveis e características do lote
Projeto / Construção / Utilização	A – Desenvolvimento e regeneração do lote, projeto urbano e infraestruturas
	B – Consumos de energia e recursos
	C – Cargas ambientais
	D – Qualidade ambiental interior
	E – Qualidade de serviço
	F – Aspetos sociais, culturais e percetivos
	G – Custos e aspetos económicos

O processo de pontuação baseia-se numa série de comparações entre as características do edifício a certificar e as referências nacionais ou regionais.

O único sistema de avaliação e certificação da construção sustentável internacional com aplicação em Portugal é o SBTool, através do SBTool^{PT}. O SBTool^{PT} foi adaptado pela iiSBE Portugal e a ECOCHOICE, em cooperação com o LFTC-UM (Laboratório de Física e Tecnologias da Universidade do Minho), tendo sido a primeira adaptação realizada em 2009 (ECOCHOICE & LENA, 2011).

A metodologia implementada na ferramenta SBTool^{PT} tem por base a estrutura do sistema internacional SBTool com as adaptações necessárias ao contexto nacional.

iv) Sistema LiderA – Liderar pelo Ambiente na Procura da Sustentabilidade na Construção

O sistema integrado de apoio ao desenvolvimento, avaliação, certificação e gestão da construção sustentável LiderA foi criado no Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura do Instituto Superior Técnico, com o apoio da IPA – Inovação e Projetos em Ambiente, Lda., desde 2000. A última versão deste sistema, LiderA2.0, foi disponibilizada em 2009 e tem a possibilidade de aplicação a diferentes

escalas, desde o edifício até ao espaço exterior, incluindo quarteirões, bairros e empreendimentos de várias dimensões.

O sistema LiderA pode ser utilizado desde no apoio à procura de soluções em fase de projeto e plano, na avaliação do posicionamento da sustentabilidade até, no caso de ter um nível de bom desempenho comprovado, atribuir o reconhecimento (para planos e projetos) ou a certificação (empreendimentos em construção e utilização).

Para o LiderA a procura de sustentabilidade nos ambientes construídos assenta em 6 princípios a serem adotados, os quais abrangem outras 6 vertentes. Os seis princípios determinantes são (Pinheiro, 2011):

- “Princípio 1 – Valorizar a dinâmica local e promover uma adequada integração;
- Princípio 2 – Fomentar a eficiência no uso dos recursos;
- Princípio 3 – Reduzir o impacte das cargas (quer em valor, quer em toxicidade);
- Princípio 4 – Assegurar a qualidade do ambiente, focada no conforto ambiental;
- Princípio 5 – Fomentar as vivências socioeconómicas sustentáveis;
- Princípio 6 – Assegurar a melhor utilização sustentável dos ambientes construídos, através da gestão ambiental e da inovação”.

Por sua vez, as 6 vertentes subdividem-se em 22 áreas. Como apoio à procura da sustentabilidade, o sistema LiderA sugere um conjunto de critérios (43 critérios) nas diferentes áreas que têm o objetivo de orientar e avaliar o desempenho. Estes critérios dispõem de diferentes níveis de desempenho (1 a 10 ou superior). Para cada tipologia de uso e para cada critério são definidos os níveis de desempenho a considerar, que permitem indicar se as soluções adotadas são ou não sustentáveis. Os níveis de desempenho são atribuídos por comparação com as boas práticas usuais, procurando atingir-se a melhoria das práticas existentes ou, no mínimo, atingir o estado de referência.

No caso deste sistema, dentro de cada área os critérios apresentam igual importância. Para obter um valor agregado, a classificação final conjugada é obtida através da ponderação das 22 áreas, que apresentam relevâncias distintas, tal como apresentado na Figura 2.11. Desta forma, também as diferentes vertentes representam pesos distintos na avaliação e certificação da construção sustentável segundo o sistema LiderA.

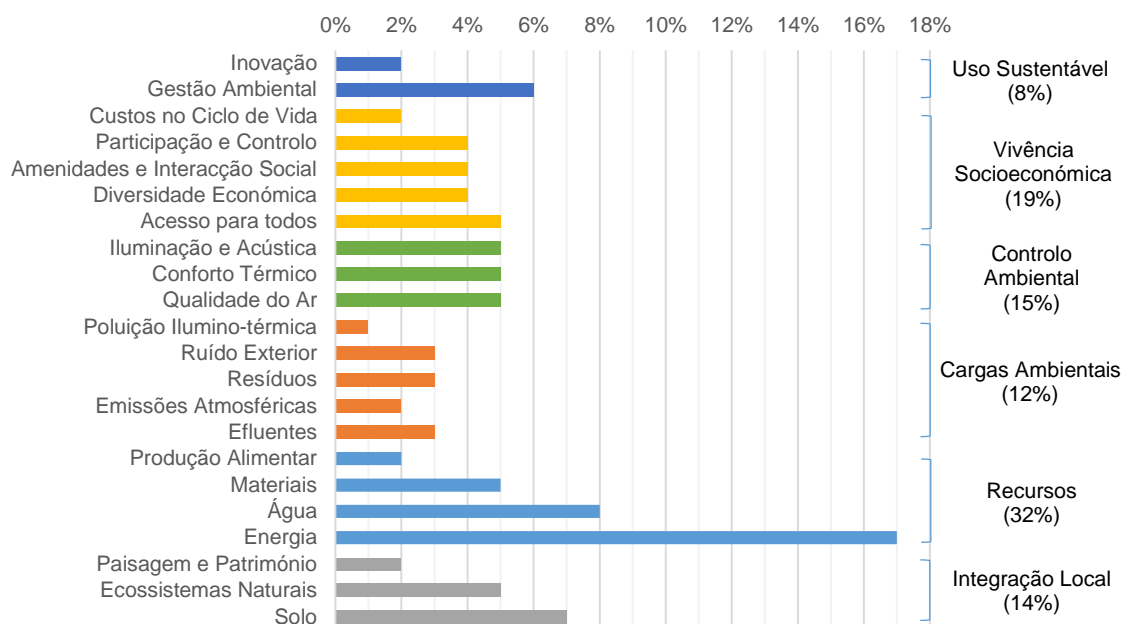


Figura 2.11 – Ponderação (em percentagem) para as 22 áreas do sistema LiderA

(Adaptado de Pinheiro, 2011)

3.1.3. Iniciativas Globais

Das diversas iniciativas globais destaca-se a SBA (*Sustainable Building Alliance*), fundada em 2009, tratando-se da primeira organização mundial para a certificação industrial sustentável de edifícios. Esta organização reuniu diversos operadores de sistemas de avaliação e certificação de construção sustentável (como por exemplo BRE, CSTB, DGNB, entre outros), organizações de normalização, centros de investigação de construção nacionais, principais interessados na indústria da construção e empresas fabricantes de produtos de construção. O objetivo da SBA é promover uma certificação de qualidade e promover a sua importância para o desenvolvimento de edifícios sustentáveis. Para atingirem este objetivo, esta organização definiu um conjunto de linhas-guia a serem consideradas pelos diferentes operadores envolvidos (Mesureur, 2009):

- Emissão de GEE;
- Energia;
- Água;
- Resíduos;
- Qualidade do ar;
- Desempenho financeiro.

Para além da influência sobre os operadores de sistemas de avaliação e certificação, a SBA tem ainda influência sobre a Comissão Europeia e os diversos governos nacionais, aconselhando-os sobre a importância que a certificação pode desempenhar para promover a sustentabilidade na construção e no ambiente construído (SBA, 2012).

Também a UNEP estabeleceu, em 2006, uma iniciativa designada por *Sustainable Buildings and Climate Initiative* (SBCI). Esta iniciativa passa por uma parceria entre a UNEP e as principais partes interessadas, públicas e privadas, no setor da construção que trabalham para promover políticas e práticas mundiais para a construção sustentável. As atividades da UNEP-SBCI regem-se por 4 objetivos gerais:

- Fornecer uma plataforma com questões de sustentabilidade com significância global comum para todos os elementos envolvidos na iniciativa;
- Estabelecer globalmente linhas-base com base na abordagem do ciclo de vida, com principal foco nas questões da eficiência energética e nas emissões de CO₂;
- Desenvolver ferramentas e estratégias para alcançar uma ampla aceitação e adoção de práticas de construção sustentável em todo o mundo;
- Promover a implementação das ferramentas e estratégias desenvolvidas através de projetos-piloto.

As duas iniciativas referidas anteriormente são as que apresentam maior relevância e aceitação pelas várias organizações e empresas envolvidas no mundo da construção sustentável.

3.1.4. Ferramentas de Modelação, Monitorização e Diagnóstico – Instrumentos de Apoio e Avaliação

Para se avaliar os edifícios e atingir a construção sustentável recorre-se muitas vezes a ferramentas de apoio, das quais se destacam equipamentos de inspeção/avaliação e aplicações informáticas.

Existem inúmeras aplicações informáticas que permitem aos projetistas modelarem um edifício e analisá-lo em termos de diversas variáveis e parâmetros, como a ventilação, a temperatura no interior do edifício, entre outras. Estas ferramentas contribuem positivamente para a obtenção de uma construção sustentável uma vez que permitem, durante o processo de desenvolvimento de um projeto, avaliar computacionalmente se as soluções adotadas vão ao encontro das necessidades de um edifício sustentável. Estas ferramentas podem ser aplicadas a projetos de novos edifícios ou de reabilitação.

De uma forma abrangente, os *softwares* disponíveis atualmente abordam os seguintes assuntos:

- Análise de todo o edifício:
 - Simulação energética;
 - Cálculo de cargas;
 - Energias renováveis;
 - Análise da aplicação de novas tecnologias e características a edifícios existentes;
 - Edifícios sustentáveis.
- Materiais, componentes, equipamentos e:
 - Sistemas de fachadas da envolvente;
 - Sistemas e equipamentos AVAC;
 - Sistemas de iluminação.

- Outras aplicações:
 - Poluição atmosférica;
 - Economia energética;
 - Qualidade do ar interior;
 - Instalações técnicas comuns;
 - Análise solar/climática;
 - Instrução;
 - Avaliação da utilidade;
 - Validação de ferramentas;
 - Ventilação/circulação do ar;
 - Conservação de água.

De entre a numerosa lista de *softwares* de apoio à construção sustentável apresentam-se na Tabela 2.7 as aplicações que alguns possuem.

Tabela 2.7 – Aplicações disponibilizadas nos *softwares* de apoio

(Adaptado de U.S. Department of Energy, 2011)

Aplicação	ECOTECH	Autodesk Vasari	EnergyPlus	Autodesk GBS	HEED	LISA	ATHENA	CYPE
Modelação 3D	●	●		●	●			
Análise analítica	●			●	●	●	●	
Análise do Ciclo de Vida	●					●	●	
Exposição solar	●	●			●			
Sombreamento	●	●						
Iluminação natural e artificial	●			●	●			●
Térmica	●				●			
Sistemas de Aquecimento e Arrefecimento	●					●		
Ventilação		●	●	●	●			
Qualidade do ar interior								●
Acústica	●							
Conservação de água			●	●		●	●	
Poluição atmosférica			●	●	●	●	●	
Simulação energética			●	●	●	●	●	
Economia energética	●			●	●	●	●	●
Energias renováveis				●				
Materiais						●	●	
Resíduos							●	

No caso dos equipamentos de inspeção/avaliação, são também de maior utilidade no que diz respeito a reabilitação de edifícios, uma vez que permitem a análise de diversas sugestões de

melhorias nas infraestruturas existentes e correspondente custo/benefício das mesmas, assim como o diagnóstico do estado do edifício.

4. Síntese do Capítulo

Tal como referido no início do subcapítulo 3, identificam-se diversas áreas-chave de atuação que têm como objetivo contribuir para a construção sustentável de edifícios, enumerando-se as energias renováveis, construção bioclimática, equipamentos energeticamente eficientes, multifuncionalidade de espaços, materiais de construção e água. Com o desenvolvimento do mesmo subcapítulo, esta ideia foi sendo corroborada através da análise dos vários exemplos de ferramentas de avaliação e/ou certificação.

É também através do estudo das normas, dos regulamentos, dos sistemas de avaliação e/ou certificação e dos instrumentos de apoio apresentados anteriormente que se compreende que, cada uma das áreas-chave, contribui com pesos distintos para o alcance da construção de edifícios sustentáveis e que cada uma delas tem influência em áreas distintas, tal como descrito na Figura 2.12.

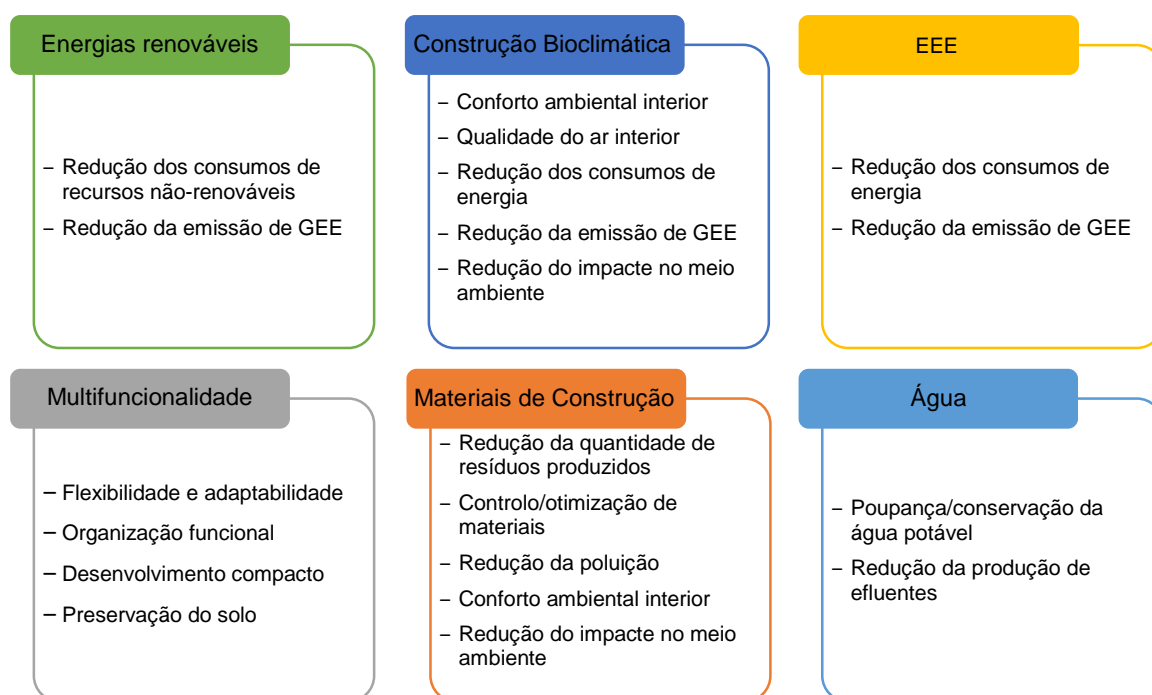


Figura 2.12 – Consequências da atuação segundo as áreas-chave de obtenção da sustentabilidade nos edifícios

É neste contexto que surge a importância da construção bioclimática, ao ser uma das principais áreas-chave que se pode seguir para atingir a sustentabilidade nos edifícios. Através da Figura 2.12 e da análise das diversas ferramentas de avaliação e/ou certificação é possível afirmar que a construção bioclimática é a área-chave que contribui mais eficazmente para a obtenção de construções sustentáveis, uma vez que, indiretamente, estas medidas permitem a poupança de uma quantidade significativa de energia e, diretamente, contribuem para o conforto dos ocupantes.

A construção assente no projeto bioclimático baseia-se na conceção de edifícios utilizando os recursos naturais do local (sol, água e vento) como elementos fundamentais, construindo-se assim edifícios bioclimáticos.

Os edifícios bioclimáticos englobam, genericamente, dois tipos principais de sistemas: os sistemas passivos e os sistemas ativos. Os sistemas passivos são aqueles nos quais as trocas de energia para aquecimento ou arrefecimento se fazem por meios naturais enquanto que os sistemas ativos se baseiam no uso de meios mecânicos de baixo consumo energético, em geral associados ao uso de energias renováveis. A Figura 2.13 apresenta sumariamente uma lista dos vários sistemas existentes.

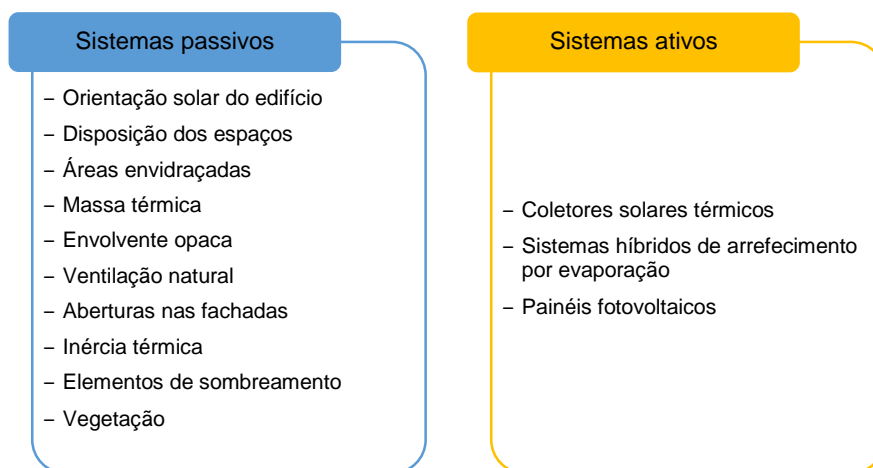


Figura 2.13 – Sistemas passivos e ativos da construção bioclimática

Esta dissertação foca-se exclusivamente na construção bioclimática recorrendo a sistemas passivos. No capítulo seguinte serão descritos, detalhadamente os diversos sistemas passivos a fim de analisar o contributo de cada um para a obtenção de edifícios sustentáveis.

Capítulo 3

Projeto Bioclimático

O projeto bioclimático de um edifício consiste na conceção de um projeto pensado e planeado tendo em conta toda a envolvência climatérica e as características ambientais do local em que o edifício se insere. Esta vertente de projeto tem como objetivo a otimização do conforto ambiental no interior do edifício, em termos de conforto térmico, luminoso e acústico, intervindo apenas quanto à forma do edifício, nos elementos que o constituem e no meio envolvente mais próximo.

Segundo Rafael Serra (2005, citado por Rojas, 2010) “entendemos como arquitetura bioclimática aquela que otimiza as suas relações energéticas com o meio ambiente que rodeia mediante o seu próprio desenho arquitetónico. A palavra bioclimática etimologicamente traduz-se no interesse pela resposta do homem enquanto utilizador do edifício, o “bio”, e do ambiente exterior, o “clima”, como afetantes da forma arquitetónica.” O projeto bioclimático é uma ferramenta concreta que sustenta uma parte da construção sustentável.

A necessidade de adotar uma construção bioclimática começou a ser sentida pelos povos antepassados, quando não existiam tecnologias que dessem resposta às necessidades de climatização e de iluminação, obrigando os habitantes a construir os seus edifícios de forma eficiente e inseri-los no clima envolvente (Lanham, Gama, & Braz, 2004).

Com o passar dos tempos e com o desenvolvimento de novas tecnologias, estas preocupações deixaram de ser preponderantes, uma vez que as populações passaram a ter à sua disposição formas mecânicas de contornar a influência do clima nos edifícios.

Recentemente, com o surgimento do conceito de construção sustentável, as boas práticas da construção bioclimática voltaram a fazer parte dos projetos dos edifícios, uma vez que estas estratégias permitem a obtenção de condições de conforto ambiental interior com o mínimo consumo de energia possível e, conseqüentemente, com o mínimo de emissões de GEE possível.

Existem diversos fatores que condicionam o projeto bioclimático, apontando-se como principais exemplos o facto de o clima variar, não só de local para local, mas também durante o ano e o facto de existir a possibilidade de se aplicar uma estratégia que beneficia um determinado requisito de conforto, ao mesmo tempo que prejudica outro. Por estes motivos, compreende-se que o projeto bioclimático é bastante complexo, necessitando de ser ponderado e pensado de forma a obter a maior eficiência e eficácia possível. É preciso compreender que não existe uma solução ótima e aplicável a todas as situações e, sendo assim, é necessário restringir esta abordagem a uma área limitada e que apresente características climáticas semelhantes.

1. Contexto Climático

Como referido anteriormente, a conceção dos projetos de edifícios é influenciada pelo clima envolvente. De uma forma simplificada, o clima depende de quatro parâmetros: da temperatura do ar, da radiação, da humidade e do movimento do ar. Posteriormente, estes fenómenos ambientais têm influência sobre os ocupantes dos edifícios, influenciando o seu bem-estar e conforto ao controlar a sua perceção das sensações térmicas, tácteis, visuais, olfativas e auditivas (Serra, 2000).

Os climas que caracterizam as várias regiões do planeta são muito variados, podendo ser quentes, frios, secos ou húmidos. Para além da variação de região para região, também variam conforme a época do ano, com a variação da altura do sol e segundo o regime de ventos.

Existem ainda os climas temperados, onde as condições ao longo do ano podem sofrer grandes alterações, como é o caso do clima mediterrânico, que se verifica em Portugal.

Consoante o tipo de clima, as soluções bioclimáticas a aplicar variam. No entanto, é nas regiões caracterizadas pelo clima temperado que o projeto bioclimático é mais complexo, uma vez que se têm de adaptar as soluções, ainda que por curtos períodos de tempo, a todo o espectro de climas referidos anteriormente. Neste caso, não interessa a dureza do clima, mas sim o facto das condicionantes ao longo do ano, ou mesmo ao longo do dia, poderem ser tão distintas.

Com a pretensão de se otimizar o funcionamento natural dos edifícios, no caso de climas temperados, deve distinguir-se o regime de inverno do regime de verão, tendo presente que as épocas intermédias (outono e primavera) são assimiladas a um dos regimes anteriores e é necessário balancear as soluções a adotar (Serra, 2000).

Resumidamente, em situações de frio ou regime de inverno a estratégia principal consistirá em conservar o ar quente no interior do edifício, dificultando as perdas de calor por condução ou convecção e facilitando os ganhos conseguidos com a radiação; já em situações de calor ou regime de verão, a estratégia principal é a oposta, ou seja, evitar ganhos por condução, convecção ou devido à radiação e promover perdas através de todos os meios possíveis, como descrito na Figura 3.1 (Gonçalves & Graça, 2004).

Tão importante como o clima de uma região é o ambiente no espaço envolvente do edifício, pois pode ser caracterizado por um microclima distinto do clima da região. Por exemplo, uma vertente exposta a sul ou a norte pode significar mais de 3°C de diferença de temperatura, ou no caso de existirem algumas árvores a taparem o vento ou uma lagoa a humedecer o ar podem gerar microclimas completamente distintos (Serra, 2000).

Desta forma, para tornar a análise das condições climáticas mais facilitada e compreensível, é conveniente dividir o clima em duas escalas distintas, porém indissociáveis, – a escala macroclimática e a escala microclimática, – descrevendo-se ambas nos pontos seguintes.

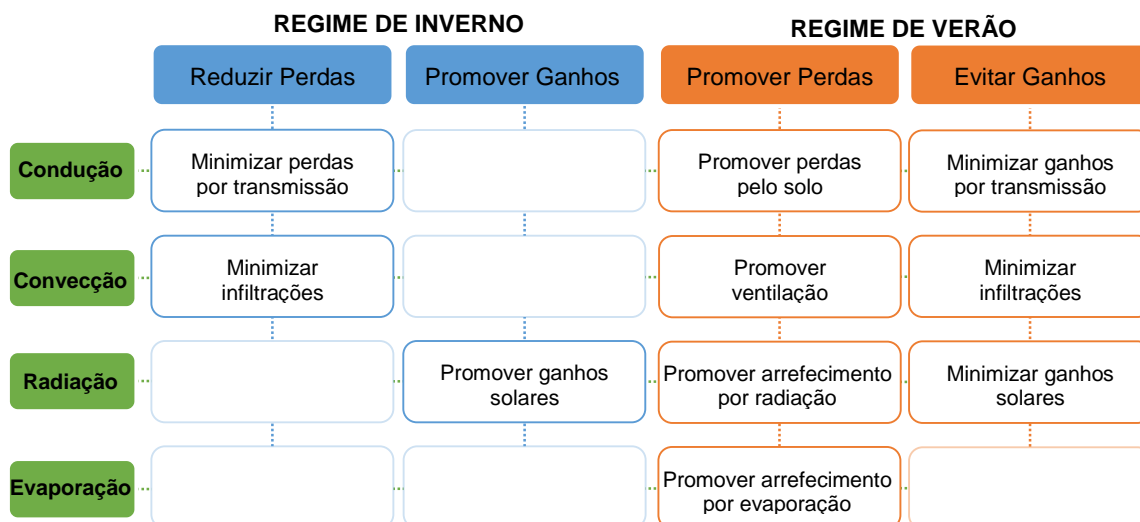


Figura 3.1 – Estratégias bioclimáticas segundo o regime climático

(Adaptado de Gonçalves & Graça, 2004)

1.1. Fatores e Elementos Climáticos à Escala Macroclimática

Antes de definir o projeto da construção ou reabilitação de um edifício deve ter-se como premissa um estudo do clima e do local do projeto.

Existem vários fatores que determinam o clima de uma região, que por sua vez influenciam o projeto dos edifícios. Um dos principais fatores é a situação geográfica ou a latitude de uma região, visto determinarem os processos térmicos, como a incidência solar, afetando a temperatura do ar e do interior dos edifícios (Lamberts, Dutra, & Pereira, 1997).

Por outro lado, a altura acima do nível do mar também influencia o clima de uma região, traduzindo-se numa redução de temperatura à medida que a altitude aumenta.

Os elementos climáticos são entendidos como as condições, variáveis ou propriedades físicas da atmosfera utilizadas para medir e descrever o clima num dado momento (Serra, 2000).

Os elementos climáticos considerados como principais condicionantes são a ação do sol e do vento, sendo que são estes dois parâmetros combinados que provocam a variação dos quatro parâmetros de que o clima depende: radiação, temperatura do ar, humidade e movimento do ar.

A precipitação é também considerada um elemento climático relevante em determinadas zonas climáticas, principalmente devido à sua frequência, determinando o tipo de cobertura a utilizar, a sua inclinação e os materiais construtivos a aplicar. No entanto, no caso do clima temperado este elemento não é preponderante, não sendo aprofundado nesta dissertação.

i) Radiação

O único parâmetro climático que não está relacionado com o ar é a radiação, dependendo este parâmetro da luz e do sol. A importância da radiação no que diz respeito à comodidade térmica é bastante relevante, uma vez que quase metade das trocas de energia do corpo humano com o ambiente se realiza por radiação (Serra, 2000). Por este motivo, qualquer estudo de projeto de um edifício deveria começar por se focar no parâmetro da radiação e não pelo da temperatura do ar, como é habitual acontecer.

Existem três meios de propagação da radiação que incide na envolvente dos edifícios: radiação direta (onda curta), radiação difusa (onda curta), no caso em que a radiação é difundida através das moléculas de ar e por partículas que constituem a atmosfera, ou ainda, radiação refletida por outras superfícies (onda longa) (Lamberts, Dutra, & Pereira, 1997).

A radiação solar está relacionada com a trajetória do sol, com a duração da exposição solar, com o ângulo de incidência dos raios solares e com a intensidade da radiação (Serra, 2000). Estes diferentes parâmetros têm de ser analisados para que seja possível projetar os edifícios, de modo a que estes aproveitem da melhor forma os ganhos solares, nos casos em que o contributo da radiação é benéfico, e restringir a sua entrada nos casos em que o mesmo efeito é inconveniente.

A radiação solar é um parâmetro que varia constantemente, podendo variar diariamente, mensalmente, sazonalmente e anualmente. Em Portugal, no solstício de inverno (21 de Dezembro) o sol nasce relativamente próximo da orientação sudeste e põe-se relativamente próximo da orientação sudoeste, variando o ângulo de azimute do nascer e do pôr-do-sol com a latitude do lugar. Nos equinócios (21 de Março e 21 de Setembro) o sol nasce exatamente na orientação este e põe-se exatamente na orientação oeste. Por fim, no solstício de verão (21 de Junho) o sol nasce relativamente próximo da orientação nordeste e põe-se relativamente próximo da orientação noroeste, variando o ângulo de azimute da mesma forma que no solstício de inverno (Gonçalves & Graça, 2004). Estes movimentos podem ser compreendidos através da análise da Figura 3.2.

A radiação solar é responsável por diversos fenómenos, sendo relevante, no contexto desta dissertação, referenciar a iluminação natural e o aquecimento dos corpos. A radiação é portanto uma fonte de energia, calor e iluminação sendo importante a compreensão da interação que esta estabelece com os edifícios, para desta forma os projetar o mais corretamente possível. A incidência da radiação solar determina, por exemplo, a localização e a posição das aberturas na envolvente opaca e dos elementos de proteção das aberturas.

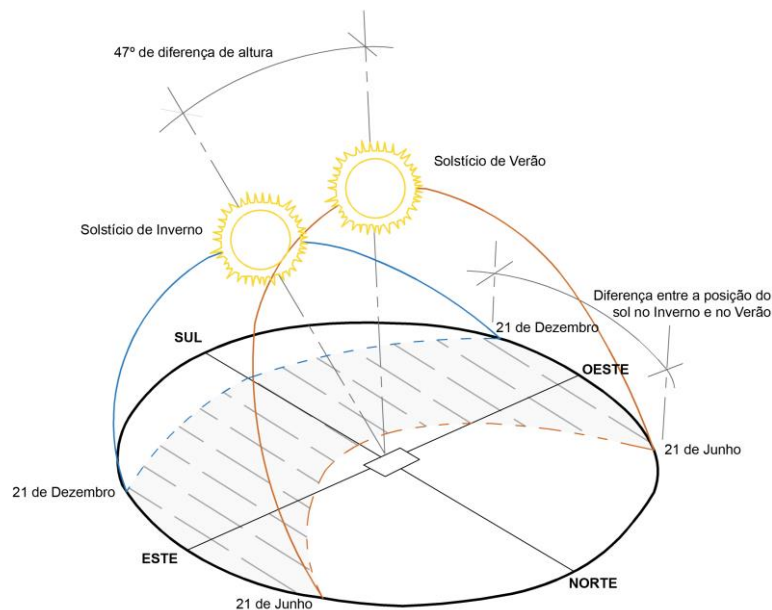


Figura 3.2 – Esquema ilustrativo da trajetória solar ao longo do ano

(Adaptado de Lanham, Gama, & Braz, 2004)

ii) Temperatura do Ar

A temperatura é condicionada por outros parâmetros e fatores como a radiação solar, o movimento do ar, a altitude e a natureza do solo do local em questão. Por sua vez, a temperatura influencia a evaporação, a radiação e o movimento do ar através das suas variações diárias e sazonais (Serra, 2000).

Durante o dia, devido a uma maior quantidade de radiação direta incidente, a temperatura tem tendência a subir, acontecendo o inverso durante a noite.

Para estudar o comportamento térmico de um edifício é imprescindível conhecer os modos de transmissão de calor. O calor é transmitido de três formas distintas (Henriques, 2011):

- Por condução, sendo que a transmissão ocorre por contacto entre duas zonas com temperaturas distintas, podendo ocorrer em corpos sólidos ou em fluídos. Cada material possui um coeficiente de condutibilidade térmica¹ distinta, que permite identificar se o material é um bom condutor térmico (valor de condutibilidade térmica elevado) ou, se pelo contrário, é um bom isolante térmico (valor de condutibilidade térmica reduzido);
- Por convecção, podendo ser entendida como uma forma específica de condução, na qual a variação de temperatura das moléculas implica a alteração relativa do seu posicionamento e, conseqüentemente, variações de massa volúmica que provocam movimentos típicos da convecção, ocorrendo apenas em fluídos. Se este movimento se dever a um gradiente de temperatura (o ar mais quente e com menor massa volúmica sobe por impulsão e é

¹ A condutibilidade térmica é uma característica própria de cada material que traduz a forma como o material se deixa atravessar pelo calor, podendo ser definida como a quantidade de calor que atravessa a unidade de espessura do material, por unidade de área, por unidade de diferença de temperatura.

substituído por ar mais frio, prosseguindo-se o processo de forma equivalente, criando-se uma corrente de convecção), denomina-se por convecção natural. Se a convecção for criada através do movimento do vento, denomina-se por convecção forçada. As trocas térmicas por convecção são maiores do que por condução, visto que os diferenciais térmicos são superiores devido aos movimentos referidos;

- Por radiação, uma vez que todos os corpos emitem radiação eletromagnética, dependendo da sua temperatura. Este modo de transmissão não necessita de um meio para se propagar, encontrando condições preferenciais de transmissão através de misturas gasosas ou de sólidos semitransparentes, visto apresentarem uma absorção fraca. A análise do comportamento dos edifícios incide apenas na radiação térmica, cujo comprimento de onda varia entre 0,1 e 100 μm incluindo a radiação ultravioleta, a luz visível e a radiação infravermelho.

Em todas as situações, para que ocorra transferência de calor é necessária a existência de diferenças de temperaturas entre duas quaisquer zonas, sendo que o fluxo de calor² ocorrerá sempre das temperaturas mais elevadas para as mais baixas.

A temperatura é fundamental na análise do comportamentos dos edifícios, uma vez que, em conjunto com os efeitos causados por outros elementos climáticos, permite determinar se as condições climáticas de conforto são garantidas, ao mesmo tempo que condiciona o sistema construtivo a utilizar e as medidas a adotar no caso da reabilitação.

iii) Humidade

A humidade é entendida como a quantidade de vapor de água contida no ar, resultando da evaporação de massas de água provocada pelo aquecimento gerado pela radiação solar e da evapotranspiração animal e vegetal. A humidade é a variável climática mais estável ao longo do dia (Serra, 2000).

Desta forma, a humidade traduz a percentagem de água que o ar contém, sendo este valor influenciado pela temperatura do ar, pelo volume de precipitação, pela vegetação, pelo tipo de solo e por outras condições climatéricas como os ventos e a exposição solar (Lamberts, Dutra, & Pereira, 1997).

O ar a uma determinada temperatura pode conter uma determinada quantidade de água, sendo que, quanto maior a temperatura do ar, menor será a sua densidade, podendo conter uma maior quantidade de água. Se a quantidade de água evaporada no ar corresponde ao máximo possível para aquela temperatura, diz-se que o ar está saturado. Quando se atingem estas condições, qualquer quantidade de água a mais, que esteja no estado gasoso, condensará (Henriques, 2011).

Quando a quantidade de vapor de água no ar é menor do que o máximo possível para a temperatura registada, diz-se que esta proporção (em percentagem) se trata da humidade relativa do ar, podendo

² O fluxo de calor corresponde à quantidade de calor que é transmitida por unidade de superfície.

este valor variar ao nível microclimático, como se verá mais à frente. Habitualmente, é o valor da humidade relativa do ar que se considera nos diversos estudos realizados em edifícios.

A humidade relativa tende a aumentar quando a temperatura do ar diminui e a diminuir quando a temperatura do ar aumenta. Estes estados podem ser determinados e compreendidos através da análise de diagramas psicrométricos, tal como o representado na Figura 3.3. Um diagrama psicrométrico apresenta a influência conjunta da temperatura e da humidade no comportamento higrotérmico de um edifício.

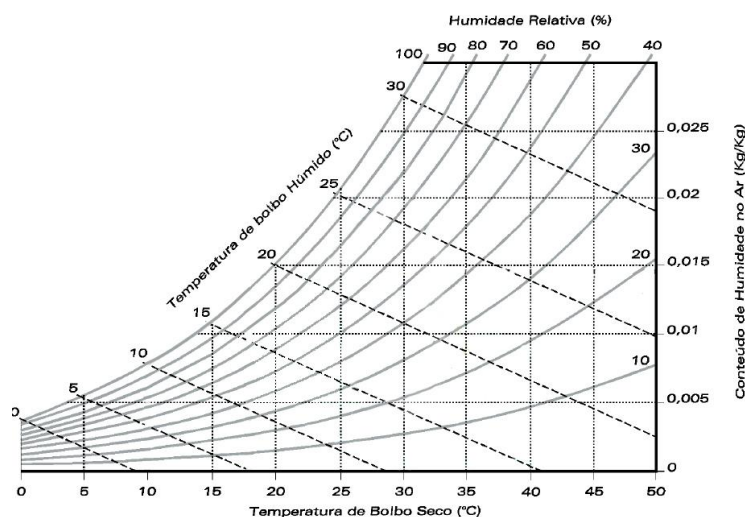


Figura 3.3 – Diagrama psicrométrico

(Adaptado de Gonçalves & Graça, 2004)

A humidade influencia a sensação de conforto dos ocupantes de um edifício, uma vez que uma das formas do corpo humano regular a temperatura é através da evaporação. É preciso compreender que, para elevados valores de humidade relativa, existe uma maior dificuldade para que a nossa transpiração evapore, aumentando a sensação de desconforto térmico. Em muitos casos, os edifícios funcionam pior do que o próprio clima, devido ao excesso de humidade proveniente das atividades realizadas no seu interior (Serra, 2000). Assim, a solução para combater este excesso passa por recorrer a um projeto que contemple a ventilação, uma vez que o movimento do ar é capaz de reduzir a sensação de calor ao aumentar as perdas por convecção.

iv) Movimento do Ar

O movimento do ar é gerado como consequência da procura de equilíbrio entre pressões. Trata-se de um fenómeno de convecção no qual o ar, aquecido pelo solo previamente exposto à radiação solar, se move das zonas de altas pressões (ar mais frio e pesado) para as zonas de baixas pressões (ar quente e leve), criando-se assim o vento (Serra, 2000).

Os parâmetros avaliados neste elemento climático são a velocidade, a direção e a probabilidade de ocorrência. É através da análise da rosa-dos-ventos de cada região que se compreendem as direções e frequências dos ventos dominantes, permitindo o conhecimento das probabilidades de ocorrência de vento para as principais orientações e a sua velocidade (Figura 3.4).

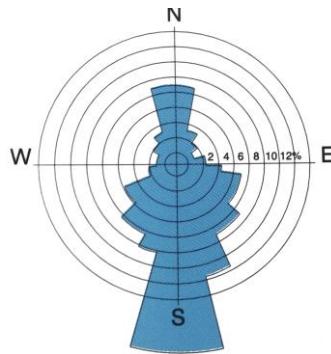


Figura 3.4 – Padrão de vento local representado numa rosa-dos-ventos

(Fonte Architects' Council of Europe, 2001)

O movimento do ar é considerado um parâmetro fundamental na análise ambiental dos edifícios, uma vez que, do mesmo modo que este pode funcionar como forma de climatização, pode também gerar sensações de mal-estar nos utilizadores de um espaço.

A existência de movimento do ar é geralmente vantajosa no verão, uma vez que permite arrefecer o ar. Pelo contrário é desvantajosa no inverno, uma vez que contribui para o arrefecimento dos edifícios por convecção. De facto, o movimento do ar traduz-se em sensação de frio, sendo que cada 0,3m/s de velocidade do ar implica um decréscimo de 1°C na sensação térmica da pessoa submetida à corrente de ar (Serra, 2000).

1.2. Fatores e Elementos Climáticos à Escala Microclimática

Existem vários fatores naturais que provocam a criação de microclimas num determinado local, como é o caso da orografia. A presença de montanhas pode constituir barreiras à incidência direta dos raios solares e do vento. De facto, a forma do relevo determina a incidência dos ventos, a radiação solar recebida e a percentagem de radiação refletida pelas superfícies, que é também função dos materiais que compõem o solo, assim como do tipo de vegetação local (Lamberts, Dutra, & Pereira, 1997).

A presença de massas de água também condiciona as variações de temperatura e de humidade de um edifício, arrefecendo o ambiente durante a noite e temperando durante o dia através da criação de brisas e ventos.

Em relação à vegetação local, sabe-se que esta pode influenciar diretamente a temperatura e a humidade, assim como a radiação solar que atinge a superfície terrestre e a percentagem de energia refletida pela mesma, constituindo desta forma uma variável do clima de um lugar específico.

Para além dos fatores naturais, existem também os elementos modificados pelo Homem, como é o caso da construção dos edifícios, a pavimentação dos arruamentos, a circulação de veículos, a criação de indústrias, a redução de elementos arbóreos devido à desflorestação e outros elementos e ações que fazem parte das alterações que o Homem concretiza num determinado lugar. O clima urbano é diferente do que se verifica no território circundante, bem como existe uma relação forte entre formas e espaços urbanos e o desenho urbano como estratégia bioclimática. Às escalas do

quarteirão e do bairro, as decisões de desenho podem melhorar o microclima local devido à criação de barreiras, por exemplo, contra excessivas exposições ao sol e ao vento.

Como se pode compreender, estes fatores, devido à possível variação dos mesmos de zona geográfica para zona geográfica, são capazes de modificar as condições climáticas, criando microclimas dentro de uma região.

O estudo dos fatores a esta escala é fundamental para o projeto de um edifício, uma vez que uma série de particularidades climáticas do local pode induzir a soluções bioclimáticas mais adequadas e adaptadas ao bem-estar dos ocupantes e à eficiência energética de um edifício.

i) Radiação

Os edifícios e outras estruturas urbanas causam alguma obstrução à radiação solar direta, representando uma redução na radiação solar que incide na envolvente do edifício a projetar, devido ao sombreamento causado pelos diferentes obstáculos exteriores ao mesmo.

De facto as obstruções locais afetam a luz natural disponível, determinando o número de horas de exposição solar de um determinado edifício. Qualquer sombreamento causado por colinas, árvores ou edifícios existentes irá afetar a quantidade de luz disponível. É portanto imprescindível determinar quais as obstruções maiores ou mais próximas, para assim adaptar as soluções bioclimáticas ao edifício a projetar (Figura 3.5).

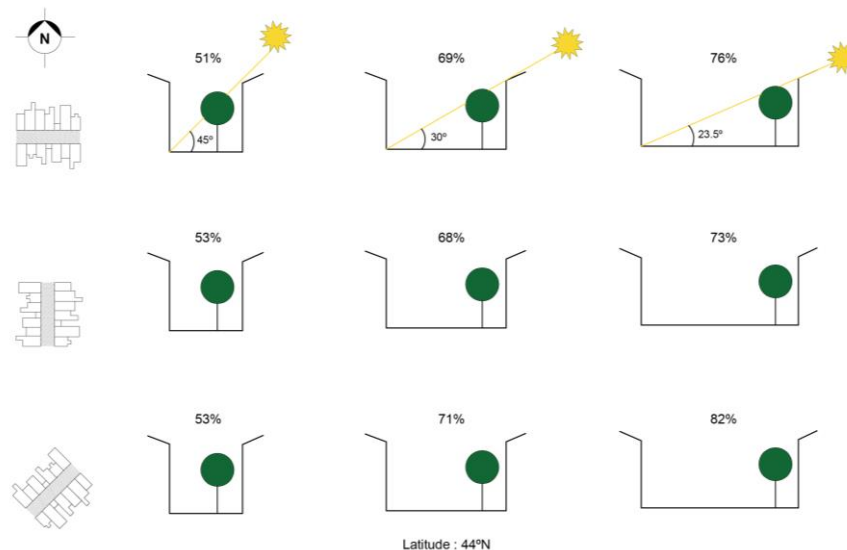


Figura 3.5 – Quantidade de radiação solar que atinge um edifício dependendo do afastamento das obstruções e da orientação

(Fonte Architects' Council of Europe, 2001)

A vegetação tem uma implicação distinta das restantes possíveis obstruções no bloqueio da radiação solar. Em locais arborizados, a vegetação pode deter entre 60 e 90% da radiação solar direta incidente, causando uma redução significativa da temperatura da superfície do solo (Lamberts, Dutra, & Pereira, 1997). Esta realidade deve-se ao facto de as árvores absorverem parte

da radiação solar para realizarem a fotossíntese. A parcela de energia emitida das árvores para o solo também é inferior à que receberia numa situação a céu aberto.

Quando a radiação solar atinge a superfície da envolvente dos edifícios, esta divide-se em várias frações, sendo uma parte transmitida diretamente para o interior do edifício através de aberturas nas fachadas, outra parte é absorvida pela envolvente opaca, sendo conduzida para o interior e, por fim, a restante fração da radiação é refletida pela superfície da envolvente (Lamberts, Dutra, & Pereira, 1997).

ii) Temperatura

As zonas urbanas têm tendência a serem mais quentes do que as zonas rurais, sendo que a temperatura média diária costuma ser superior em 1°C a 2°C (Architects' Council of Europe, 2001). Esta realidade deve-se a vários fatores que, no seu conjunto, constituem o chamado “efeito de ilha de calor”:

- O calor é emitido por edifícios, transportes motorizados e indústrias;
- Os materiais da superfície dos pavimentos e dos edifícios armazenam e conduzem mais calor do que o solo não alterado e do que a vegetação;
- Os edifícios impedem a circulação do vento, reduzindo o seu potencial efeito de arrefecimento.

À escala microclimática, é preciso compreender que o solo contribui para amenizar as temperaturas no interior dos edifícios. Após ser aquecido pela radiação solar, o solo retém o calor durante mais tempo do que os materiais de construção convencionais. Esta particularidade deve-se à inércia térmica característica dos solos, sendo que estes ganham ou perdem calor lentamente se submetidos a temperaturas respetivamente altas ou baixas.

Dentro dos espaços urbanos, os espaços verdes têm um importante papel no efeito microclimático, sendo que as temperaturas nos parques urbanos podem ser 5 a 10°C inferiores às que se verificam nas áreas densamente edificadas. A temperatura do solo coberto será entre 10 a 15°C mais baixa do que a dos materiais que absorvem calor (Architects' Council of Europe, 2001).

iii) Humidade

A humidade pode sofrer alterações à escala mais próxima do edifício devido à presença de água ou de vegetação. Nas proximidades de massas de água (lagos, fontes, espelhos de água) o ar torna-se mais húmido, podendo ser utilizado para refrescar o interior dos edifícios, através dos ventos que conduzem este ar mais fresco para o interior do edifício. A vegetação pode contribuir da mesma forma devido à evapotranspiração resultante do seu metabolismo (Lamberts, Dutra, & Pereira, 1997).

iv) Movimento do Ar

Ao nível microclimático, as condições do movimento do ar podem ser alteradas pela presença de vegetação, edifícios e outros obstáculos naturais ou artificiais. Em geral, a velocidade do vento aumenta com a altitude, no entanto, dada a existência de um elevado número de edifícios e outras estruturas nos meios urbanos, que funcionam como obstáculo à circulação do vento, o escoamento do ar nas cidades tende a ser, em média, mais lento mas mais turbulento³ do que nos meios rurais e locais abertos. De facto, a topografia, os edifícios e outras estruturas e as zonas arborizadas podem alterar por completo o regime de ventos de uma região. Desta forma compreende-se que as dimensões dos obstáculos influenciam o gradiente vertical de ventos (Figura 3.6) (Architects' Council of Europe, 2001).

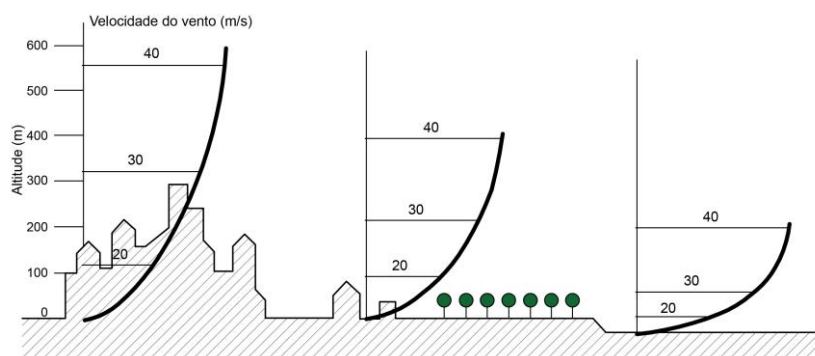


Figura 3.6 – A velocidade do vento habitualmente registada nos meios urbanos, nos meios rurais e em campo aberto

(Fonte Architects' Council of Europe, 2001)

Quando o vento encontra barreiras à sua circulação, regra geral, a intensidade do vento fica reduzida a metade para uma distância de 10 a 15 vezes a altura da barreira, sempre dependendo da forma da mesma. Uma redução superior, até um quarto da intensidade, obtém-se com barreiras contínuas (não vegetais), para uma distância da ordem de 10 vezes a altura da barreira (Architects' Council of Europe, 2001).

O movimento do ar conjugado com a vegetação tem também grande influência na determinação de um microclima local, uma vez que o vento que passa entre as folhas das árvores retira grande parte do calor proveniente da radiação solar que anteriormente aqueceu o solo.

1.3. Condições de Conforto

Quando se fala em conforto ambiental no interior do edifício, existem certos parâmetros que se têm de garantir para que os utilizadores se sintam confortáveis. Os parâmetros a respeitar são a temperatura, a velocidade do vento, o caudal de renovação de ar, a humidade relativa e o nível de iluminação, sendo que os limites aceitáveis destes parâmetros são definidos, a nível nacional, por vários documentos legislativos ou, a título indicativo, em diversa bibliografia. No caso desta

³ O escoamento turbulento de um fluido corresponde à situação na qual as partículas se misturam de forma não linear, isto é, de forma caótica com turbulência e redemoinhos. O contrário deste tipo de escoamento é o escoamento laminar

dissertação, tiveram-se em atenção os limites definidos por Architects' Council of Europe (2001) e pela diversa legislação portuguesa.

Desta forma, listam-se os valores dos diversos parâmetros que condicionam a obtenção de conforto no interior dos edifícios e que devem ser garantidos:

- A temperatura ambiente deverá proporcionar conforto térmico aos habitantes, sendo necessário considerar como valores de referência 20 a 22°C no regime de inverno e 24 a 26°C no regime de verão;
- A temperatura interior ambiente deverá respeitar sempre o intervalo entre 19 e 27°C⁴, inclusive;
- A temperatura média radiante⁵ deverá ser 3°C inferior à temperatura do ar interior ótima;
- A velocidade do movimento do ar aceitável no interior dos compartimentos é de 0,1 a 0,15 m/s, no caso do regime de inverno, e 0,25 m/s no regime de verão, nunca podendo ultrapassar 1 m/s;
- A humidade relativa deverá ser mantida a um nível aceitável, ou seja, 50 a 60% no regime de verão e 40 a 50% no regime de inverno;
- Os fatores luz do dia⁶ recomendados são de no mínimo 0,5% e em média 1,5% para a sala de estar, 0,3% e 1,0%, respetivamente, para os quartos e 0,6% e 2,0%, respetivamente, para a cozinha.

Em relação à ventilação, o documento que define as exigências em Portugal é a NP 1037-1 (2002). Esta norma quantifica as exigências de ventilação através de caudais-tipo. O caudal-tipo é entendido como um elemento de dimensionamento, sendo determinado tendo em atenção o volume dos compartimentos a ventilar e as respetivas exigências mínimas de renovação de ar. As renovações de ar são definidas da seguinte forma:

- Uma renovação por hora nos compartimentos principais;
- Quatro renovações por hora nos compartimentos de serviço;

É necessário compreender que um correto sistema de ventilação natural é conseguido através de um projeto de construção que contemple a admissão de ar através dos compartimentos principais e a evacuação através dos compartimentos de serviço. Assim, os caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço são apresentados na Tabela 3.1 e os caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais são apresentados na Tabela 3.2, ambos dependendo do volume do compartimento.

⁴ A Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de Dezembro (2013) define o intervalo de temperaturas de 20 a 25°C (inclusive) para o caso de edifícios não híbridos e não passivos. Nesta dissertação o objetivo é sempre seguir um método passivo, sendo por esse motivo que o intervalo considerado é de 19 a 27°C.

⁵ A temperatura média radiante é a temperatura média registada à superfície dos elementos que envolvem um espaço.

⁶ O fator luz do dia é a iluminação interior num dado ponto dentro de casa, expressa como percentagem da iluminação simultaneamente disponível no exterior, na horizontal, com o céu desobstruído.

Tabela 3.1 – Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço

(Adaptado de NP 1037-1, 2002)

Compartimento		Volume				
		≤ 8 m ³	> 8 m ³ ≤ 11 m ³	> 11 m ³ ≤ 15 m ³	> 15 m ³ ≤ 22 m ³	> 22 m ³ ≤ 30 m ³
Cozinha		-	60 m ³ /h		90 m ³ /h	120 m ³ /h
Instalação sanitária	Com banheira ou duche	45 m ³ /h		60 m ³ /h	90 m ³ /h	-
	Sem banheira nem duche	30 m ³ /h	45 m ³ /h	60 m ³ /h	-	-
Espaços para lavandaria		30 m ³ /h	45 m ³ /h	60 m ³ /h	-	-

Tabela 3.2 – Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais

(Adaptado de NP 1037-1, 2002)

Volume (m ³)	≤ 30	> 30 ≤ 60	> 60 ≤ 90	> 90 ≤ 120	> 120 ≤ 150	> 150 ≤ 180	> 180 ≤ 210	> 210 ≤ 240
Caudal-tipo (m ³ /h)	30	60	90	120	150	180	210	240

2. Estratégias Bioclimáticas

Os sistemas passivos construtivos integrados nos edifícios têm como objetivo contribuir para o seu aquecimento ou arrefecimento de forma natural. Quer seja no regime de inverno, quer seja no regime de verão, o objetivo é o de manter sempre uma temperatura mais constante possível no interior do edifício.

A metodologia de aplicação do projeto bioclimático passa pela análise das soluções tecnológicas adequadas a cada problema de conforto climático, através da eleição do local de construção, da orientação do edifício, dos cálculos de sombra, entre outros, e da combinação das várias soluções por forma a se atingir um equilíbrio de acordo com a importância dos diferentes elementos climáticos.

Uma vez que grande parte das estratégias implementadas têm carácter fixo, não se podendo alterar ao longo do ano, elas têm de ser equacionadas tendo em consideração as alterações climáticas ao longo do dia e ao longo do ano.

Uma edificação que foi projetada para ser energeticamente eficiente pode não o ser se os ocupantes tiverem um comportamento de desperdício energético. A medida a aplicar para que esta situação seja prevenida passa por o projetista, após definido o projeto bioclimático, passar aos futuros ocupantes da edificação instruções de utilização da mesma. Estas instruções podem ser transmitidas verbalmente ou através de um manual.

Os pontos que se seguem têm como objetivo dar a conhecer as diversas estratégias bioclimáticas que podem ser aplicadas no projeto de um edifício. Para melhor compreender o papel de cada uma na obtenção de conforto ambiental interior e de eficiência energética, serão expostas segundo o

regime climático em que atuam. No entanto, algumas das estratégias bioclimáticas contribuem positivamente em ambos os regimes, sendo que se optou por as referenciar apenas no regime em que apresentam melhor contributo (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Listagem das estratégias bioclimáticas a aplicar no projeto de um edifício.

Estratégia Bioclimática	Regime de Inverno	Regime de Verão
Localização do edifício	●●	●
Forma do edifício	●●	●
Orientação do edifício em função da radiação solar	●●	●
Orientação do edifício em função do movimento do ar	●	●●
Distribuição dos espaços interiores	●●	●
Localização e dimensão das aberturas	●●	●
Isolamento térmico	●●	●
Inércia térmica	●	●●
Massa térmica	●●	●
Sombreamento e proteções solares	●	●●
Ventilação natural	●	●●
Câmaras-de-ar	●	●●
Cor	●	●●
Barreiras vegetais	●	●●
Paredes de trombe	●●	●
Estufas	●●	●
Coletores de ar	●●	●
Paredes e colunas de água	●●	●
Pátio interior	●	●●

●● Contributo elevado || ● Contributo médio || ● Contributo negativo

2.1. Regime de Inverno

Durante o regime de inverno o objetivo do projeto bioclimático passa pela redução das perdas de calor do interior do edifício, ao mesmo tempo que promove os ganhos. Assim, devem reduzir-se as perdas por condução e convecção e aproveitar os ganhos provenientes da radiação solar.

O projeto bioclimático de aquecimento passivo baseia-se em três fases distintas: captação, acumulação e distribuição de calor (Lamberts, Dutra, & Pereira, 1997).

Como anteriormente foi referido, os sistemas de aquecimento passivo pretendem maximizar a captação da luz solar, associando-se a elementos de elevada massa térmica que permitirão o armazenamento da energia solar recebida, por forma a poder ser distribuída nas horas seguintes.

i) Localização do Edifício

Em grande parte dos projetos, a escolha do local de implantação do edifício é anterior à elaboração do projeto, não sendo possível interferir a este nível. Se não for o caso, a escolha do local deve passar pelo que ofereça melhores condições para o utilizador do edifício, tendo sempre em conta os impactos no ambiente global (Architects' Council of Europe, 2001).

Ao escolher a localização é necessário ter em conta os elementos da paisagem, incluindo a vegetação e as formas naturais do terreno, que irão servir de “tampão” contra os fatores climáticos mais duros.

Uma vez que no regime de inverno é necessário haver ganhos térmicos, o local de implantação do edifício deve ter acesso à radiação solar direta. Já no caso do regime de verão, em que é necessário um arrefecimento do edifício, deve procurar-se uma localização em zonas com circulação de ar e em que exista vegetação que cause sombreamento.

Em relação à ventilação, o procedimento pode consistir em implantar o edifício num espaço que garanta a proteção através do relevo ou que procure uma situação mais ventilada. Pode ter de se recorrer a terraplanagens para garantir que os ventos refrescantes de verão sejam direcionados para o edifício e os ventos quentes sejam excluídos por acidentes geográficos.

Na eventualidade da existência de lagos, lagoas, cursos de água ou zonas húmidas pode tirar-se proveito dos mesmos, de forma a arrefecer o edifício através do vento que circula sobre estas massas de água. O arrefecimento é feito por evaporação, sendo necessário no entanto compreender que, como a superfície da água é plana, as velocidades dos ventos podem ser muito elevadas, já que a superfície da água não oferece qualquer resistência à passagem do vento. No entanto, uma fonte de humidade apenas reflete um efeito significativo em edifícios que se localizam até 2 m da massa de água (Architects' Council of Europe, 2001).

No caso de estar prevista a construção do edifício numa zona urbana, deve escolher-se a localização cuidadosamente, sendo necessário avaliar qual o lado exposto à radiação solar ou sombreado do arruamento, qual o alinhamento do arruamento em relação ao sol e ventos dominantes e qual a largura da via (Roaf, Fuentes, & Thomas, 2006).

Deve ter-se em conta que as encostas viradas a sul recebem mais sol do que os terrenos com pendente para norte, devendo-se, portanto, localizar os edifícios mais altos a norte, para que não façam sombra sobre os edifícios mais baixos. De facto, a distância e implantação dos edifícios não devem permitir situações de sombra nas fachadas dos edifícios envolventes (Figura 3.7).

Resumidamente, a localização escolhida deve procurar desviar ou reduzir os ventos predominantes mais intensos, sem diminuir os ganhos solares.

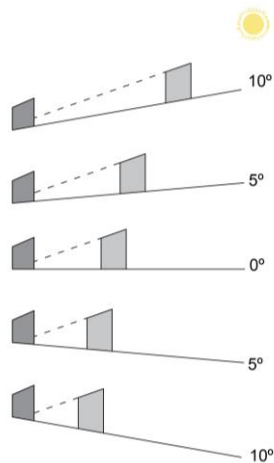


Figura 3.7 – Efeito do declive no acesso ao sol

(Adaptado de Architects' Council of Europe, 2001)

ii) Forma do Edifício

Segundo Architects' Council of Europe (2001) “a simples conceção do edifício com a forma certa e a orientação correta, poderá reduzir o consumo de energia entre 30 a 40%, sem sobrecustos”.

Devido às condições climáticas que se verificam no regime de inverno, a forma do edifício deve ser compacta, evitando entradas e saliências que aumentem a superfície de perdas de calor. Quanto maior for a superfície que envolve o volume aquecido, maior será a área de superfície que perde ou ganha calor (no caso do regime de verão). Assim, quando o aquecimento for a necessidade dominante, deve aplicar-se uma baixa razão entre a superfície da envolvente e o volume do edifício (Serra, 2000).

Dependendo da influência que o vento tem sobre o edifício, deve optar-se pela forma mais adequada, sendo aerodinâmica caso o vento represente um problema, ou o oposto caso seja desejável. De facto, a forma do corpo dos edifícios poderá ser definida de modo a que bloqueie ou desvie o vento. A utilização ou criação de condições locais de abrigo poderá reduzir até 15% as perdas de calor dos edifícios, por convecção ou infiltração (Roaf, Fuentes, & Thomas, 2006).

De uma forma geral, deve expor-se a maior área possível ao sol e a menor área possível aos ventos predominantes e intensos, devendo-se sempre considerar conjuntamente as orientações das superfícies em relação ao sol e ao vento (Figura 3.8).

Já em relação às várias tipologias de edifício, é necessário realçar que as formas agrupadas, tais como as casas em banda, são as mais eficientes, uma vez que só têm duas fachadas exteriores e é possível aplicar a ventilação transversal. Para uma dada área, os apartamentos utilizam menos energia do que as casas em banda e as casas em banda menos do que as geminadas, e por sua vez, as geminadas utilizam ainda menos do que as moradias (Architects' Council of Europe, 2001).

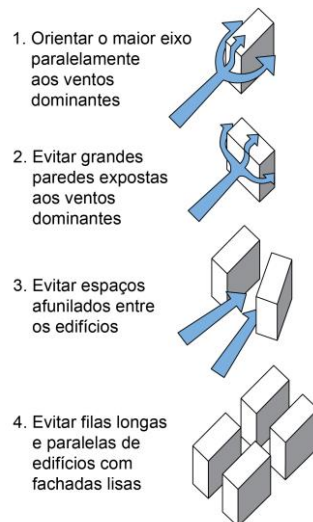


Figura 3.8 – Medidas a aplicar para evitar correntes de ar

(Adaptado de Architects' Council of Europe, 2001)

iii) Orientação do Edifício em Função da Radiação Solar

A melhor orientação para obter os maiores ganhos solares varia com a latitude. No entanto, em Portugal, a orientação ideal é quando o eixo do edifício de maior dimensão está perpendicular à orientação sul. Desta forma, o eixo de maior dimensão de um edifício deve ser executado segundo este-oeste, orientando a maior percentagem de fachada entre sudoeste e sudeste. Com uma rotação do eixo de até 20° a partir da orientação sul, a afetação nos ganhos solares é mínima (Kachadorian, 1997).

Um edifício que se encontra disposto ao longo de um eixo este-oeste expõe o alongado lado sul a um ganho solar máximo nos meses de inverno e as fachadas mais pequenas, viradas a este e oeste, a um ganho de calor máximo durante o verão. A fachada sul do edifício recebe pelo menos três vezes mais radiação solar durante o inverno do que a este e a oeste (Architects' Council of Europe, 2001). No verão a situação é contrária. Tanto no verão como no inverno a fachada exposta à orientação norte recebe muito pouca radiação. Consequentemente, a disposição de um edifício ao longo de um eixo este-oeste é considerada a forma mais eficaz para minimizar as necessidades de aquecimento mecânico durante o inverno e de arrefecimento mecânico no verão.

iv) Distribuição dos Espaços Interiores

A distribuição dos espaços interiores deve ser projetada pensando no zonamento e orientação dos mesmos, tanto em planta como em elevação, atendendo às necessidades de aquecimento, arrefecimento, iluminação natural e ventilação de cada espaço, para que se minimize os gastos de energia do edifício.

Assim, os compartimentos que requerem ganhos de calor deverão ser previstos no lado sul do edifício os compartimentos que necessitem apenas de aquecimento intermitente poderão ser localizados em áreas com orientações menos favoráveis e por fim, os espaços que precisam de arrefecimento deverão ser localizados nas zonas expostas à orientação norte. É também nas áreas com fachadas expostas a norte que devem ser previstos os espaços-tampão (áreas de serviço e circulação), que funcionam como zonas de proteção para os compartimentos que precisam de aquecimento permanente (Architects' Council of Europe, 2001).

Assim, devem colocar-se no lado sul do edifício os espaços que requerem aquecimento permanente, de forma a poderem aproveitar os ganhos solares, ao mesmo tempo que se protegem da fachada norte através de espaços que não necessitam de aquecimento permanente, tal como áreas de serviço e circulação (Figura 3.9).

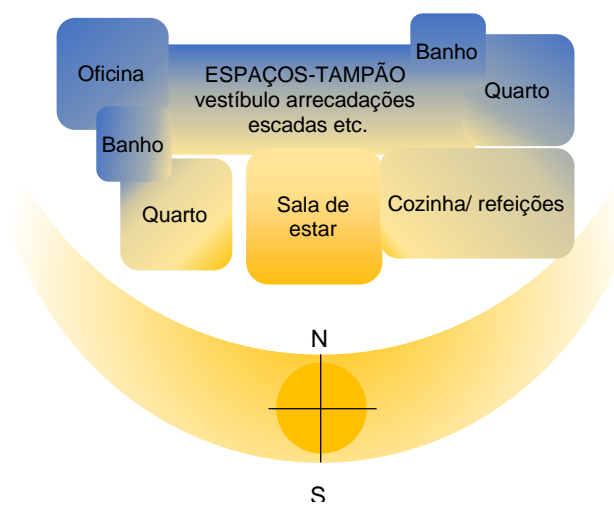


Figura 3.9 – Posicionamento dos espaços interiores

(Adaptado de Architects' Council of Europe, 2001)

Os espaços em que a iluminação natural é importante necessitam, evidentemente, de estar localizados junto das fachadas exteriores ou da cobertura do edifício.

O centro do edifício terá tipicamente temperaturas que oscilam menos do que aquelas que se verificam nos espaços em contacto com o exterior, mais expostos às variações diurnas e sazonais do clima.

v) Localização e Dimensão das Aberturas

O percurso do sol ao longo do ano tem uma grande influência na definição da localização dos vãos envidraçados num edifício, da sua dimensão e o tipo de vidro a utilizar.

Em situações de frio, no regime de inverno, qualquer entrada de energia para o interior do edifício é conveniente. No entanto, esta situação coincide com baixos níveis de radiação exterior, onde apenas a radiação direta, que penetra pelas aberturas, permite aquecer o interior no qual se devem evitar perdas de calor. Desta forma, sendo necessário aquecer os edifícios, a estratégia correta será a de captar a radiação solar disponível. É a orientação a sul que propicia os maiores ganhos solares,

uma vez que o percurso do sol se efetua para azimutes muito próximos do sul geográfico, tal como foi explicado anteriormente (Gonçalves & Graça, 2004).

Em relação às restantes orientações é importante compreender que:

- A orientação este recebe pouca radiação durante o inverno, ao contrário do que acontece no verão. No entanto, no regime de verão a radiação excessiva é indesejável, sendo recomendável reduzir ao máximo as áreas envidraçadas expostas a esta orientação;
- Na orientação oeste verifica-se a mesma situação do ponto anterior, no entanto, devido ao facto da incidência da radiação solar nas fachadas expostas à orientação oeste, no regime de verão, se verificar desde o meio-dia até ao pôr-do-sol, coincide com o registo das temperaturas do ar exterior mais elevadas, tornando as fachadas e aberturas orientadas a oeste as mais problemáticas no regime de verão;
- Na orientação norte, no regime de inverno, as fachadas não recebem nenhuma radiação direta, sendo portanto a fachada mais problemática neste regime, uma vez que a colocação de áreas envidraçadas nesta fachada não contribui para os ganhos energéticos, transformando-se em zonas de perdas de calor.

Em relação à iluminação natural, o nível desta depende muito da porção de céu visível através das janelas, a partir desse ponto. Assim, a distribuição de uma quantidade significativa de envidraçados junto ao teto beneficia a iluminação natural. Por exemplo, as janelas ao alto proporcionam uma melhor distribuição da luz natural numa divisão do que as janelas baixas e largas. Para além disso, a escolha da forma e da dimensão da janela irá depender de fatores tais como a profundidade do compartimento e a orientação do vão envidraçado (Architects' Council of Europe, 2001).

Em suma, o desenho dos envidraçados deverá equilibrar as necessidades de aquecimento, arrefecimento e de luz natural.

vi) Isolamento Térmico

A transmissão de calor por condução, através dos elementos opacos da envolvente dos edifícios, é um fenómeno que influencia muito o comportamento térmico dos mesmos. Enquanto no regime de inverno interessa restringir as perdas de calor para o exterior através dos elementos construtivos envolventes, no regime de verão torna-se favorável restringir os ganhos excessivos de calor exterior. Para minimizar estes efeitos em ambas as estações, deve aumentar-se a resistência térmica dos elementos construtivos incorporando materiais isolantes (Architects' Council of Europe, 2001).

O isolamento térmico é aplicado essencialmente na envolvente opaca, sendo que ao planear os isolamentos é necessário ter em conta as características térmicas do espaço exterior, sendo necessário reforçar os isolamentos nas zonas mais frias e expostas ao vento, ao contrário do que acontece nas zonas mais protegidas. Desta forma, deve prestar-se maior atenção às fachadas expostas a norte e às coberturas. No entanto, com o clima temperado que caracteriza Portugal, é recomendado aplicar isolamento térmico em todas as fachadas, cobertura, locais em contacto com o terreno e espaços não úteis, tanto para reduzir as perdas de calor, como para manter as

superfícies interiores a uma temperatura superior à que se verificaria no caso de não serem isoladas, melhorando assim os níveis de conforto (Roaf, Fuentes, & Thomas, 2006). Alguns dos materiais mais utilizados como isolantes são a cortiça, o poliestireno expandido, o poliuretano e as lãs minerais.

Deve colocar-se o isolamento o mais perto possível da face exterior da envolvente opaca, permitindo ajudar a estabilizar a temperatura interior e elevando a temperatura radiante no interior. Uma maior capacidade térmica útil, como resultado de um isolamento pelo exterior do edifício, significa que as flutuações da temperatura do ar são reduzidas, mas o espaço levará mais tempo a aquecer e a arrefecer (Figura 3.10) (Architects' Council of Europe, 2001).

O isolamento garantido será tanto maior quanto maior for a espessura do material isolante colocado.

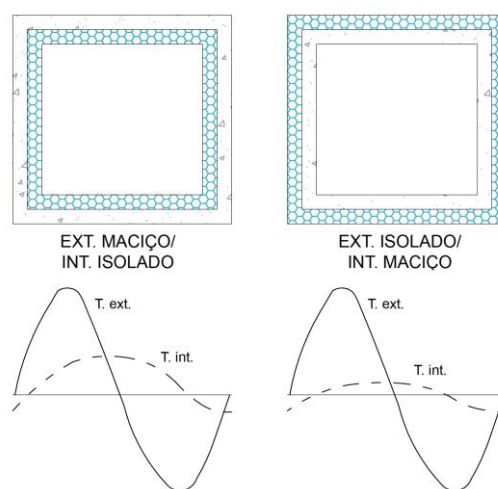


Figura 3.10 – Comparação do efeito entre o isolamento colocado pelo exterior e pelo interior

(Adaptado de Roaf, Fuentes, & Thomas, 2006)

Em relação às aberturas, é necessário dificultar a perda de calor por transmissão através das mesmas, sendo necessário isolá-las ao máximo. Também se torna imprescindível limitar a entrada de ar exterior frio, sendo necessário garantir estanquidade das aberturas (fachadas orientadas a sul ou pátios interiores).

No entanto, esta redução das perdas de calor por ventilação tem os seus limites, não sendo prudente aplicar uma total estanquidade. Para fins de higiene, é necessário garantir a renovação do ar interior de acordo com os valores apresentados anteriormente.

No caso da envolvente envidraçada, devem selecionar-se janelas cujo conjunto “vidro/caixilho” apresente valores de coeficiente de transmissão térmica mais baixos, por exemplo, vidros duplos.

Existe um conceito bastante presente quando se fala em isolamento térmico – as pontes térmicas.

- **Pontes térmicas**

As pontes térmicas são os mais insidiosos de todos os problemas térmicos que se enfrentam no projeto de um edifício. As soluções construtivas selecionadas para o projeto de um edifício implicam a existência de heterogeneidades e sempre que existe uma zona de menor isolamento térmico que uma zona adjacente, o fluxo de calor que a atravessa será sempre maior, designando-se por pontes térmicas estas zonas (Henriques, 2011).

As principais pontes térmicas lineares são (Figura 3.11) (ITeCons, 2011):

- Ligação entre duas fachadas (1);
- Ligação entre fachada e parede divisória (2);
- Ligação entre fachada e parede em contacto com espaço não útil (3);
- Ligação entre fachada e pavimento em contacto com o solo (4);
- Ligação entre fachada e pavimento sobre espaço não útil (5);
- Ligação entre fachada e varanda sobre espaço não útil com ou sem continuidade da parede (8);
- Ligação entre fachada e pavimento exterior (6);
- Ligação entre fachada e varanda com ou sem continuidade da parede (7) (10);
- Ligação entre fachada e pavimento intermédio (9);
- Ligação entre fachada e cobertura (12) (11);
- Ligação entre fachada e cobertura com continuidade da laje (13) (14);
- Ligação entre fachada e cobertura com platibanda;
- Ligação entre fachada e caixa de estore (15);
- Ligação entre soleira e varanda sobre espaço não útil;
- Ligação entre fachada e padieira, ombreira ou peitoril (16);
- Ligação entre soleira e varanda (17).

A efetividade de uma ponte térmica depende da sua geometria e condutibilidade do material que a constitui.

As pontes térmicas causam condensação, pois, quando a temperatura do ar exterior está mais baixa que a do ar interior, as pontes térmicas estão mais frias do que os elementos construtivos próximos e do que o ar interior, fazendo com que os elementos adjacente e o ar interior arrefeçam rapidamente. Como o ar mais frio pode manter em suspensão menos humidade do que o ar quente, a humidade condensa na superfície da parede mais fria (Roaf, Fuentes, & Thomas, 2006).

Para que o efeito das pontes térmicas seja anulado, é necessário colocar o isolamento térmico pelo exterior e de forma contínua.

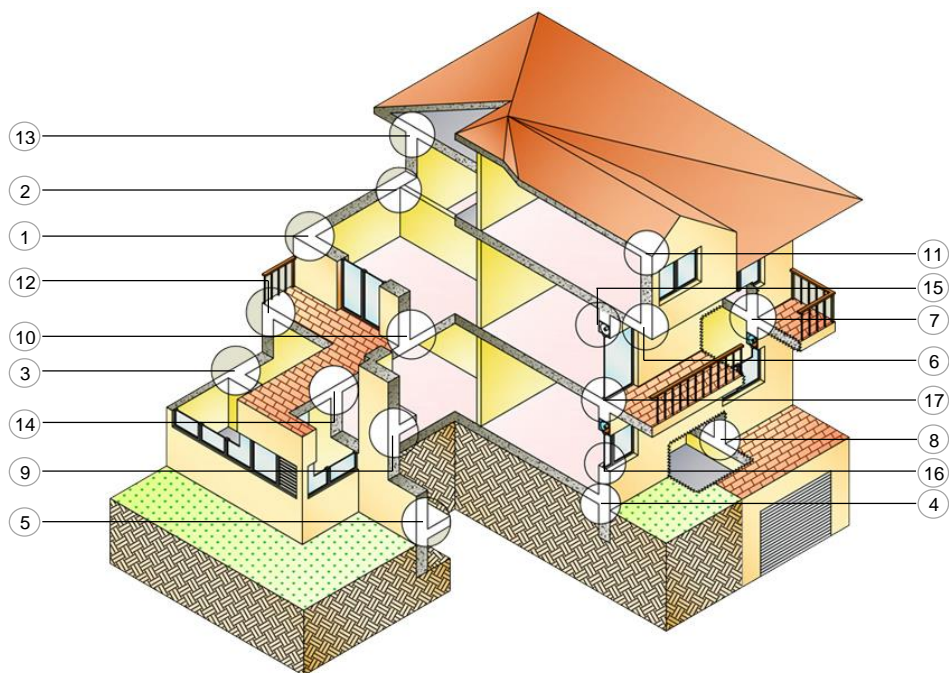


Figura 3.11 – Pontes térmicas lineares

(Adaptado de ITeCons, 2011)

vii) Massa Térmica

A massa térmica de um material traduz-se na capacidade de armazenar calor e o transportar da superfície para o interior do material e, posteriormente, do interior para a superfície, atuando sobre a velocidade com que o calor flui (Lamberts, Dutra, & Pereira, 1997).

A eficácia da massa térmica depende da espessura, superfície e propriedades térmicas (capacidade térmica volumétrica e condutibilidade térmica).

Considera-se que os melhores materiais são aqueles que apresentam alta capacidade térmica volumétrica e alta condutibilidade térmica. A capacidade térmica depende do calor específico do material e da massa do corpo, traduzindo-se na quantidade de calor que um corpo necessita receber ou ceder para que a sua temperatura varie uma unidade. Na Tabela 3.4 apresentam-se os valores do calor específico (c) e massa volúmica (ρ) dos materiais de construção mais comuns.

Os elementos com elevada massa térmica devem estar localizados em zonas sujeitas a ganho solar direto. Durante o dia a massa térmica absorve o calor resultante da incidência direta da radiação solar e, posteriormente, o calor é conduzido através do material sólido, sendo que a taxa de fluxo de calor depende da condutibilidade dos materiais que constituem o elemento, da sua espessura e da diferença de temperatura entre os dois lados do elemento. O betão, o tijolo e a água são exemplos de bons materiais em relação à característica de massa térmica.

Assim, a massa térmica desempenha um papel estabilizador das condições interiores, atenuando a amplitude térmica no interior dos edifícios. Quanto maior for a massa térmica, menor será a variação

de temperatura. No entanto, se for demasiado elevada dificulta o aquecimento do edifício, sendo necessário procurar um equilíbrio entre a massa térmica, isolamento e áreas de vãos.

Tabela 3.4 – Valores de calor específico e massa volúmica de alguns materiais de construção

(Fonte: ISO/FDIS 10456:2007 (E), 2007)

Material	c (J/kg.°C)	ρ (kg/m ³)	Material	c (J/kg.°C)	ρ (kg/m ³)
Aço	450	7800	Gesso (estruque)	1000	1000
Aglomerado de cortiça (ICB)	1500	< 200	Granito	1000	2600
Água a 40°C	4190	990	Madeira	1600	300
Alumínio	880	2800	Mármore	1000	2800
Ar	1008	1,23	Polietileno de alta densidade	2300	70
Argamassa de cimento	1000	1800	Poliestireno expandido	1300	40
Asfalto	1000	2100	Poliuretano expandido	1500	70
Betão	1000	2400	PVC	1000	1200
Calcário	1000	2000	Terra	1000	2000
Cerâmica	840	2300	Vidro	750	2200
Cobre/Zinco	380	7200			

Devido à limitada profundidade de penetração do fluxo de calor, grande parte da capacidade térmica de paredes e pavimentos de grande espessura não contribui para o armazenamento de calor. Nesse sentido, surgiu o conceito de “massa térmica ativa” de modo a simplificar o projeto e poder otimizar as soluções construtivas sob o ponto de vista térmico. Quando se pretende determinar a massa térmica ativa, é necessário calcular a profundidade de penetração do fluxo de calor, ou seja, a espessura na qual as variações consideráveis de temperatura são acompanhadas pelo armazenamento ou libertação de calor.

viii) Outras Estratégias

- **Parede de Trombe**

Consiste num sistema composto por um vão envidraçado, por uma caixa-de-ar com 10 a 15 cm e uma parede de alvenaria com espessura variável, a aplicar nas fachadas em contacto com o exterior, com exposição à orientação sul. A superfície exterior da parede é geralmente de cor escura, aumentando assim a captação da radiação solar incidente, ao mesmo tempo que o envidraçado evita que o calor se perca para o exterior. Cria-se assim um sistema que se baseia no efeito de estufa, atingindo-se temperaturas muito elevadas (30 a 60°C) no espaço entre o vidro e a parede de armazenamento. Este calor pode ser transferido gradualmente ou de imediato para o interior do espaço a aquecer (Architects' Council of Europe, 2001).

A parede de trombe aquece gradualmente durante o dia, progredindo o calor lentamente desde a face exterior da parede até ao interior. Ao aquecer, a superfície interior da parede irradia calor para

o espaço interior adjacente. Se a parede tiver a espessura correta, o calor captado durante o dia é transmitido ao espaço interior adjacente ao princípio da noite.

Se for necessário um aquecimento imediato, poderão ser praticadas aberturas de ventilação nas partes superior e inferior da parede, permitindo que o calor circule por convecção para o interior do espaço adjacente. Estas aberturas deverão ser fechadas à noite a fim de evitar que o ciclo se inverta e o calor se perca (Figura 3.12).

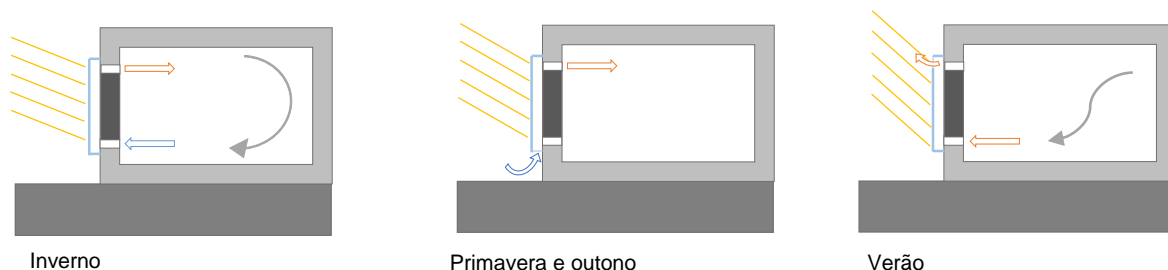


Figura 3.12 – Esquema de funcionamento de uma parede de trombe nas várias estações do ano

(Adaptado de Gonçalves & Graça, 2004)

- **Estufas**

Consiste num espaço não útil, construído adjacente aos espaços úteis e tendo, habitualmente, os elementos construtivos em contacto com o exterior e vidro. A radiação solar que entra através dos elementos envidraçados transforma-se em calor, sendo armazenado nos elementos opacos interiores.

A energia acumulada é transmitida ao espaço adjacente a aquecer por condução através da parede de armazenamento que os separa e por convecção, no caso de existirem orifícios que permitam a circulação de ar (Figura 3.13) (Architects' Council of Europe, 2001).

Ao combinar o ganho direto e o indireto, pode ser integrada no desenho de um novo edifício, ou ser um valioso adicional a um existente.

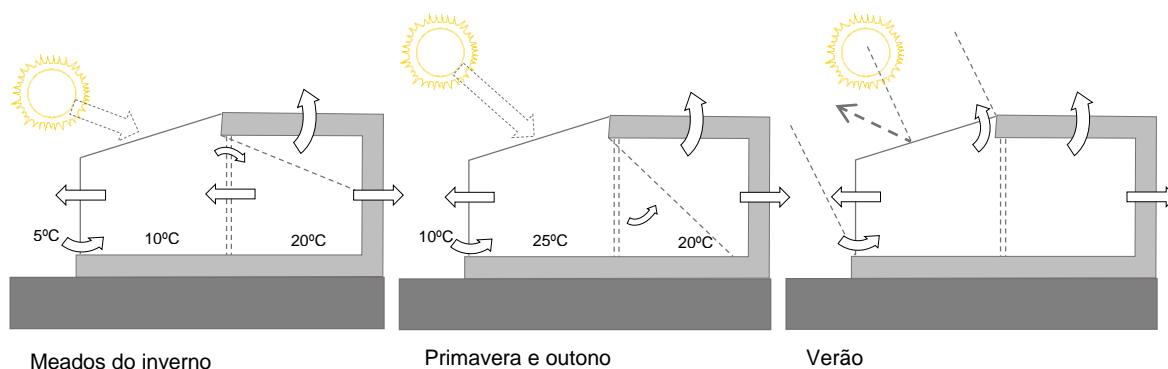


Figura 3.13 – Comportamento de uma estufa solar ao longo do ano

(Adaptado de Architects' Council of Europe, 2001)

- **Coletores de Ar**

Os coletores de ar são constituídos por uma superfície de vidro e uma superfície absorsora sem qualquer capacidade de armazenamento térmico. Funcionam em termossifão e permitem ventilar os espaços interiores adjacentes ao longo de todo o ano. Este sistema permite aquecer o ar exterior a insuflar no interior do edifício durante o regime de inverno, utilizando para tal um dispositivo de captação solar. Este dispositivo permite que toda a radiação absorvida seja transmitida diretamente ao ar de insuflação (Architects' Council of Europe, 2001).

Durante o regime de verão o sistema permite a extração do ar interior.

- **Paredes e Colunas de Água**

Entre os materiais pesados, a água, que pode estar contida em qualquer tipo de recipiente, apresenta especial interesse. Ao tratar-se de um material com capacidade calorífica 5 vezes superior aos materiais normais de construção, para um mesmo volume, e ainda que pese metade do que os outros materiais, resulta no melhor acumulador possível de calor para o interior do edifício (Architects' Council of Europe, 2001).

Esta solução consiste na construção de depósitos que funcionam como paredes ou colunas que preenchem espaços nas fachadas e são preenchidos com água. A radiação solar incidente é acumulada durante o dia e por condução é transmitida para o interior do espaço a aquecer, demorando um determinado tempo que depende da espessura da parede. Esta estratégia permite armazenar energia que estará disponível no período noturno.

2.2. Regime de Verão

No caso do regime de verão, os fenómenos são mais complexos e, ainda que as consequências sejam menos críticas, a obtenção de bons resultados através da implementação de estratégias bioclimáticas é mais difícil.

Durante o regime de verão o objetivo do projeto bioclimático passa pela promoção das perdas de calor do interior do edifício, ao mesmo tempo que evita os ganhos. Assim, deve promover-se as perdas de calor recorrendo a todos os meios possíveis – por condução, convecção, radiação e evaporação – e evitar os ganhos por condução, convecção ou radiação.

Os sistemas de arrefecimento passivo pretendem tirar partido das diversas fontes frias que permitam arrefecer o edifício, podendo recorrer-se ao solo, ao ar exterior, à água ou à própria radiação.

i) Orientação do Edifício em Função do Movimento do Ar

Para se optar pela melhor orientação de um edifício em função do movimento do ar é necessário, primeiramente, conhecer as direções do vento predominantes segundo a época do ano, distinguir entre os ventos favoráveis e desfavoráveis e atuar em concordância (Serra, 2000).

As formas alargadas devem situar-se transversalmente à direção dos ventos agradáveis e paralelas aos ventos inconvenientes. Na definição da orientação da forma, o ponto mais crítico passa pela combinação positiva da ação do vento com a orientação solar adequada.

- **Efeitos dos Fluxos de Ar sobre os Edifícios**

O efeito dos fluxos de ar sobre as fachadas de um edifício pode resumir-se às sobrepressões e depressões que se criam sobre as diferentes superfícies, sendo responsáveis pela geração de correntes de ar, desejadas ou não, que atravessam o espaço interior (Serra, 2000).

Sobre uma forma paralelepípedica simples, quando o vento incide perpendicularmente a uma das faces, geram-se sobrepressões acentuadas nessa face, uma depressão de menor intensidade na face oposta e uma ligeira depressão nas faces laterais na zona mais próxima da face sobrepressionada (Figura 3.14).

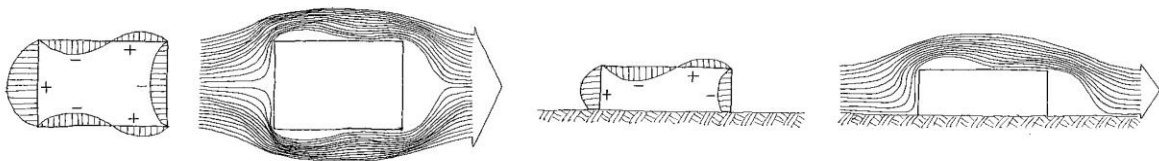


Figura 3.14 – Efeito dos fluxos de ar sobre um edifício

(Fonte: Serra, 2000)

Ao se alterar a direção do vento ou a forma do edifício, a distribuição de pressões sobre a envolvente é alterada. Logicamente, conservam-se sempre as sobrepressões nas superfícies que recebem o vento e as depressões nas faces situadas no sentido oposto, no entanto, para as restantes superfícies não é fácil conhecer o seu estado de pressão.

ii) Inércia Térmica

A inércia térmica de uma fração ou edifício trata-se da capacidade que os elementos construtivos que os limitam dispõem de amortecer e desfazer o fluxo de calor que os atravesse.

A inércia térmica de uma fachada afeta a transmissão de calor através da mesma em condições variáveis, sendo que a inércia é função direta do peso da parede. A inércia amortece os efeitos da alteração da temperatura ao longo do tempo, dando lugar a fluxos de energia mais regulares do que o que se produziria numa parede sem inércia e reduzindo a oscilação de temperatura na face interior em relação à que atua sobre a face exterior da parede (Figura 3.15) (Serra, 2000).

A influência desta propriedade evidencia-se essencialmente nos ciclos dia-noite e em dias sucessivos. A inércia de uma parede pode causar o atraso de horas ou dias (maiores de 6 horas em paredes normais) e o amortecimento das oscilações das temperaturas de vários graus de temperatura (reduz a menos de 10%), sendo o suficiente para que os espaços interiores do edifício tenham condições térmicas muito mais estáveis do que as que se registam no exterior do edifício (Architects' Council of Europe, 2001).

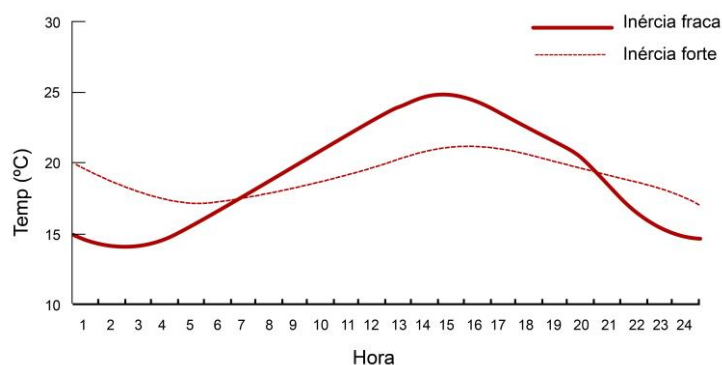


Figura 3.15 – Temperaturas interiores num dia de calor em edifícios de inércia forte e fraca

(Adaptado de Architects' Council of Europe, 2001)

Assim, durante o regime de verão, a inércia térmica das paredes em contacto com o exterior atrasa os ganhos indesejados durante o dia e dissipa-os durante a noite, mantendo o interior do edifício fresco.

iii) Sombreamento e Proteções Solares

Uma vez que durante o regime de inverno existe a necessidade de criar aberturas para vãos envidraçados nas fachadas e durante todo o ano se deve recorrer à iluminação natural, no regime de verão é necessário aplicar uma solução que permita reduzir eficazmente os ganhos de calor através destes elementos. Para isso, deve bloquear-se a passagem da radiação solar.

Nas condições de calor que se registam durante o regime de verão, a circunstância com maior gravidade é a penetração de radiação solar direta proveniente das direções este, oeste e zenital, sendo que a penetração de grandes quantidades de energia radiante também pode provocar o sobreaquecimento dos espaços interiores (Lamberts, Dutra, & Pereira, 1997).

Para evitar ao máximo a incidência de radiação solar sobre o edifício e a entrada da mesma nos espaços interiores, deve proteger-se com elementos de sombreamento a fachada a sul (onde existe maior área envidraçada) e as fachadas este e oeste. Estes sombreamentos consistem em elementos que fazem parte do corpo do edifício (saliência e reentrâncias) como beirais, beirados, palas, varandas e saliências verticais.

As palas horizontais fixas limitam os raios solares de maior inclinação vertical, mas reduzem a penetração da luz natural e não são apropriadas nas exposições a este e oeste. As palas contínuas

proporcionam um sombreamento mais eficaz do que aquelas que se limitam à largura do vão (Architects' Council of Europe, 2001).

O sol refletido no exterior, quer seja em outros edifícios quer seja em terrenos claros, é outro importante contributo para a energia que penetra pelas aberturas. Neste caso, as aberturas orientadas a norte (que nunca recebem radiação direta) ou as orientadas a sul protegidas por um elemento de sombreamento, podem significar fortes aquecimentos não previstos. A solução passa por escurecer as divisões durante o dia através da utilização de dispositivos de proteção solar. Alguns exemplos de dispositivos de proteção solar são estores, portadas, cortinas, venezianas, entre outros. Nas fachadas orientadas a este ou a oeste a solução correta passa pela utilização de estores de lâminas verticais, visto bloquearem a incidência direta da radiação solar ao mesmo tempo que permitem executar uma correta iluminação natural (Roaf, Fuentes, & Thomas, 2006).

No entanto, as proteções solares devem procurar permitir a ventilação e uma entrada de luz natural que seja facilmente controlada.

De uma forma geral, os elementos de sombreamento de todo o tipo de radiação podem ser classificados como fixos ou móveis, internos ou externos. Os sistemas de sombreamento móveis impedem a entrada da radiação direta durante o regime de verão ou permitem a entrada de radiação durante o regime de inverno. Em relação aos sistemas internos e externos, é possível afirmar que o sombreamento pelo exterior é mais eficaz para reduzir os ganhos de calor (até 80%) visto intercetar e dispensar os raios solares antes de atingirem o vão envidraçado (Architects' Council of Europe, 2001).

iv) Ventilação Natural

A ventilação é o movimento do ar dentro de um edifício e entre o edifício e o exterior (Roaf, Fuentes, & Thomas, 2006).

Os sistemas de ventilação são componentes ou conjuntos de componentes de um edifício que têm como objetivo favorecer a passagem do ar pelo seu interior e melhorar as condições de temperatura e humidade nos espaços interiores. A ventilação tem duas funções principais dentro de um ambiente: renovação do ar quente e/ou poluído e arrefecimento dos ocupantes (Serra, 2000).

Genericamente, a ventilação natural é garantida devido às diferenças de temperatura registadas entre o exterior e o interior do edifício, provocando diferenças de pressão, ou devido à influência do vento. Durante o regime de inverno, a ventilação natural é necessária exclusivamente devido a questões de salubridade do ar interior, não se devendo recorrer ao parâmetro climático do vento, uma vez que iria contribuir para o arrefecimento do interior do edifício. Desta forma, deve recorrer-se às pressões provocadas pela diferença de temperaturas e as trocas de ar entre o exterior e interior devem ser garantidas por grelhas ou condutas de ventilação.

Durante o regime de verão, no qual não se fazem sentir as diferenças de pressão devido à temperatura, a ventilação deve ser promovida através do vento, sendo necessário colocar vãos praticados nas fachadas em contacto com o exterior que estejam expostas aos ventos dominantes.

No regime de verão a principal estratégia passa pelo máximo aproveitamento dos benefícios da ventilação, uma vez que esta pode contribuir para a comodidade dos ocupantes de diversas formas:

- Ação contra a humidade – o ar exterior, ainda que seja húmido, em valores absolutos será sempre menos do que o ar interior estanque. Nesse caso, é necessário favorecer a ventilação contínua, quer de dia quer de noite, ainda que não seja necessário um volume de ar muito elevado (2 a 3 m³/h serão suficientes para conseguir boas condições);
- Ação sobre a sensação térmica – a ação direta sobre o corpo humano, da corrente de ar em movimento, pode melhorar (consoante a velocidade do ar) a sensação térmica em alguns graus. O perigo desta ação é o de introduzir ar exterior mais quente do que o do interior. Com esta estratégia, a ventilação contínua deve ser de fluxo alto e supõe, para ser efetiva, uma troca de ar entre o interior e o exterior de 30 m³/h;
- Ventilação noturna – trata-se da renovação do ar interior com o exterior a baixas temperaturas (e menor humidade possível). Isto pode conseguir-se através de ventilação noturna ou ventilação com introdução de ar proveniente de zonas específicas, nas quais o ar é mais fresco, como por exemplo pátios. Neste caso não é necessário que a renovação do ar seja muito alta.

A aplicação destas diferentes estratégias nos edifícios implica a existência de uma disposição das aberturas tal que permita proporcionar os diferentes tipos de ventilação.

Primeiramente é necessário distinguir duas situações: existem infiltrações por furos ou pequenas aberturas (mais utilizadas no regime de inverno apenas para a renovação de ar interior) e existem as passagens livres (utilizadas exclusivamente no regime de verão). No primeiro caso, a repartição das pressões conserva-se, mas, no segundo caso, as mesmas aberturas fazem decrescer a pressão (ou depressão) na zona em que se encontram (Lamberts, Dutra, & Pereira, 1997).

Posteriormente, é necessário perceber que a corrente de ar interior se estabelece sempre entre duas aberturas em situação de pressões distintas, sendo conveniente estudar cuidadosamente as distintas possibilidades do ar passar pelo interior. Regra geral, o fluxo de ar não tenderá a repartir-se entre caminhos distintos, mas sim, a seguir o que seja mais fácil, ou seja, aquele no qual exista uma diferença de pressões mais alta e uma resistência à sua passagem mais baixa.

Existem vários sistemas que têm como objetivo forçarem a passagem do ar pelo interior do edifício através da geração de depressões e sobrepressões (Serra, 2000):

- Ventilação cruzada ou transversal – trata-se do sistema de ventilação natural mais comum e fácil de executar. Para que este tipo de ventilação ocorra, é necessária a existência de aberturas nas fachadas de compartimentos que comuniquem com espaços exteriores em condições de radiação ou de exposição ao vento distintas. As aberturas de saída de ar devem ser colocadas na parte alta das divisões, enquanto as aberturas de admissão devem ser dispostas nos paramentos verticais das fachadas opostas, para permitir a ventilação transversal no caso de existir vento. Este tipo de ventilação pode gerar de 8 a 20 renovações por hora, na presença de um vento exterior fraco (Figura 3.16);

- Efeito de chaminé – cria-se uma saída de ar com furos situados na parte superior do compartimento, conectados, se possível, a uma conduta de extração vertical. A própria diferença de densidade do ar, em função da temperatura, faz com que o ar quente saia pelas aberturas superiores. Este sistema fica completo com a presença de aberturas inferiores para a entrada de ar mais frio. A ventilação gerada não é muito alta, da ordem de 4 a 8 renovações horárias, ainda que suficiente para evitar a estratificação de ar quente na parte superior dos ambientes interiores, no entanto, não funciona muito bem no caso da temperatura exterior ser elevada (Figura 3.16);
- Câmara ou chaminé solar – funciona captando radiação dentro de uma câmara com uma superfície de cor escura protegida por uma cobertura de vidro. Ao aquecer o ar e diminuir a sua densidade, produz-se um efeito de sucção nas aberturas inferiores em contacto com o ar interior e uma extração do ar. Estas câmaras solares orientam-se para a máxima intensidade de radiação solar direta e não criam uma ventilação demasiado elevada, com renovações entre 5 e 10 volumes por hora (Figura 3.16);
- Aspirador estático – produz uma depressão no interior do edifício devido à sucção gerada por efeito de *Venturi*⁷ no dispositivo estático situado na cobertura. Deve ser utilizado em zonas com ventos constantes para que tenham a utilidade real. Os caudais de extração são muito variáveis, dependendo sempre tanto do tipo de dispositivo como da intensidade do vento. No caso de ventos com uma certa intensidade geram-se facilmente renovações horárias superiores a 10 volumes por hora (Figura 3.16);
- Ventilação subterrânea – favorece a entrada de ar proveniente de um conjunto de condutas enterradas. Neste caso aproveita-se a inércia do terreno para fornecer ar frio em tempo quente, mediante o contacto do ar de ventilação com o terreno. É um sistema adequado em climas com grandes oscilações térmicas, já que as condutas situadas a grande profundidade (de 6 a 12 metros, dependendo do terreno) estão a temperaturas praticamente constantes durante todo o ano.

Apesar de existirem mais sistemas geradores de movimento de ar, considera-se que os anteriormente referidos são os mais comuns e que apresentam os resultados mais satisfatórios.

Independentemente das soluções anteriores, será conveniente prever aberturas praticáveis que comuniquem pelo menos com duas zonas exteriores em condições de temperatura e vento distintas (Serra, 2000).

No caso de se desejar favorecer a ventilação natural, a recomendação é sobredimensionar a superfície das saídas de ar em relação às de entrada. Como a ação das depressões costuma ser menor do que a das sobrepensões, o ar de saída circularia muito mais lentamente do que o da entrada, para um mesmo caudal total.

⁷ O efeito de *Venturi* ocorre quando, num sistema fechado, existe movimento constante de um fluido dentro de um duto uniforme e se comprime momentaneamente ao encontrar uma zona de estreitamento, diminuindo a pressão e aumentando a sua velocidade, consequentemente. Se no ponto de estreitamento se introduzir um terceiro tubo, o fluido contido nessa ligação é sugado.

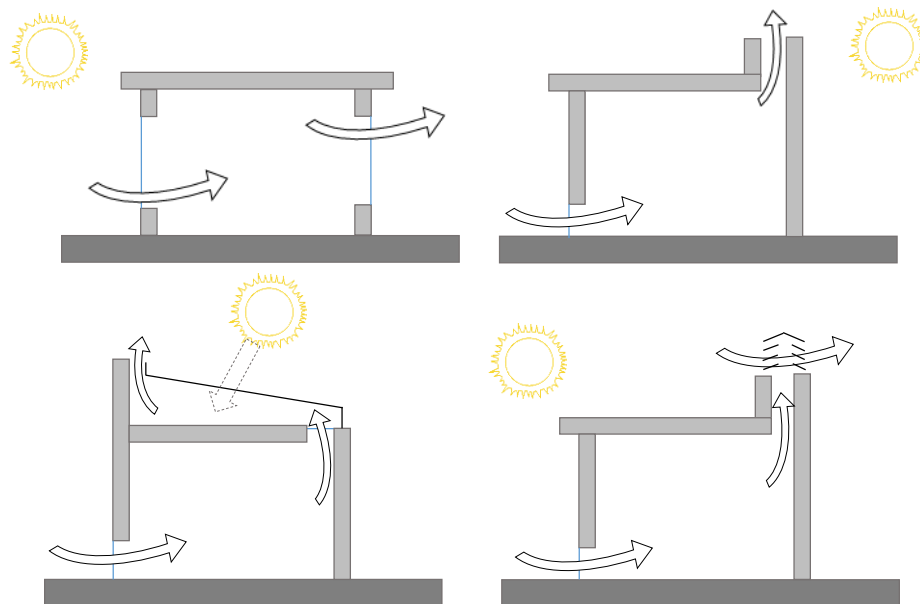


Figura 3.16 – Sistemas de ventilação natural – ventilação cruzada, efeito de chaminé, chaminé solar e aspirador estático

(Adaptado de Serra, 2000)

Uma vez que a compartimentação de um edifício impede a livre circulação de ar no seu interior, é necessário conectar as várias divisões através de aberturas colocadas nas paredes interiores, de forma a ser possível garantir uma correta circulação de ar no interior do edifício.

Para que um edifício seja considerado corretamente projetado em relação à ventilação natural deve ser pouco profundo, ou seja, com uma distância de fachada a fachada inferior a 5 vezes o pé-direito. Em compartimentos com ventilação de um só lado, a ventilação natural só será eficaz até uma profundidade de cerca do dobro do pé-direito (Roaf, Fuentes, & Thomas, 2006).

A velocidade média do fluxo de ar no interior do edifício é função da velocidade do ar no exterior, da rugosidade do ambiente exterior, do ângulo de incidência e das dimensões e localização das aberturas. O movimento do ar de 1,5 m/s na superfície corporal pode diminuir a sensação térmica em até 5°C (Architects' Council of Europe, 2001).

v) Câmaras-de-ar

Para reduzir ao máximo a penetração de radiações reemitidas de qualquer tipo no espaço interior deve recorrer-se a câmaras-de-ar. Esta situação é especialmente crítica na cobertura, podendo ser evitada eficientemente criando uma câmara ventilada que impeça o aquecimento dessa cobertura (Serra, 2000).

Também para evitar a formação de humidade no interior do edifício, devem projetar-se as zonas húmidas da habitação fora das áreas de estar, construindo uma câmara-de-ar (átrio ou varanda frontal) na qual a temperatura do ar exterior possa ser alterada (aumentada ou reduzida) antes de

entrar para o espaço habitado. Pelo mesmo motivo, também se deve prever uma área de estendal externa para diminuir as principais fontes de humidade no inverno (Roaf, Fuentes, & Thomas, 2006). Assim, o objetivo destes espaços passa, em qualquer dos casos, por alterar a temperatura do ar exterior antes de entrar para o interior da habitação.

vi) Cor

As cores utilizadas nos revestimentos e acabamentos superficiais irão afetar os coeficientes de absorção e de reflexão das superfícies em relação à luz, bem como o seu comportamento térmico. As cores deverão ser avaliadas quanto aos relativos coeficientes de absorção e de reflexão e selecionadas em conformidade, optando pela cor que melhor se adequa ao pré-requisito a responder. A porção de radiação solar absorvida pela superfície é tão mais reduzida quanto mais clara for a cor da fachada (Architects' Council of Europe, 2001).

Assim, quando o objetivo passa por reduzir ao máximo a penetração do espaço interior por radiações reemitidas de qualquer tipo, deve optar-se por acabamentos exteriores claros. As cores claras são mais eficazes na reflexão da radiação solar e, conseqüentemente, permitem a manutenção de baixas temperaturas superficiais. No entanto, se os pavimentos exteriores forem muito refletivos, estes devolverão a luz para o interior do edifício, podendo provocar encandeamento.

A aplicação de um acabamento escuro no pavimento aumentará a sua capacidade para absorver e armazenar calor.

vii) Barreiras Vegetais

As árvores e arbustos podem reduzir as temperaturas do ambiente exterior no verão, em consequência do sombreamento e da evapotranspiração (perda de água através do solo devido à evaporação e transpiração das plantas) (Roaf, Fuentes, & Thomas, 2006).

Para evitar ao máximo a incidência de radiação solar sobre o edifício e a entrada da mesma nos espaços interiores, devem ser colocadas barreiras vegetais a este e a oeste dos mesmos.

No clima temperado que caracteriza Portugal, a melhor solução passa pela colocação de árvores de folha caduca a este, sul e oeste, uma vez que sombreiam o edifício durante o regime de verão, ao mesmo tempo que, quando deixam cair as folhas no inverno, deixam entrar o sol através das aberturas nas fachadas do edifício. Uma árvore com folhagem reduz a quantidade de luz disponível a 10 a 20% do seu valor sem obstruções e no caso de uma árvore de folha caduca, mesmo no inverno reduzem-na entre 40 a 50% (Figura 3.17) (Architects' Council of Europe, 2001).

Uma vez que durante o regime de inverno existe a necessidade de permitir a incidência de radiação solar direta na fachada sul, uma ação prática a aplicar será a de localizar somente árvores de

pequeno porte (5 a 10m de altura, dependendo da distância) no lado sul do edifício (Roaf, Fuentes, & Thomas, 2006).

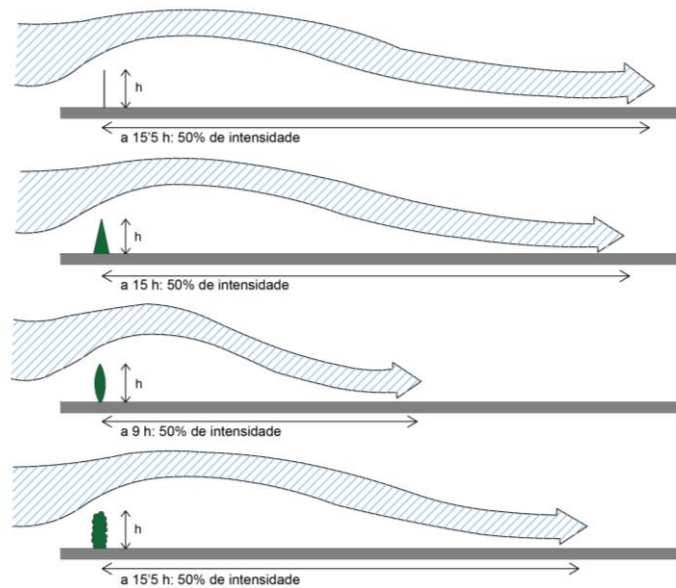


Figura 3.17 – Influência de diversas barreiras na velocidade do vento

(Adaptado de Serra, 2000)

As barreiras vegetais também contribuem para o controlo da intensidade e direção do vento. Cordões de árvores e arbustos podem reduzir as velocidades do vento até 50% para distâncias, a sotavento, de 10 a 20 vezes a sua altura (Architects' Council of Europe, 2001).

As árvores e os arbustos também podem ser responsáveis pelo aumento da temperatura no regime de inverno, ao atenuar a velocidade do vento e ao reduzir as perdas de calor durante a noite.

viii) Outras Estratégias

- **Pátio Interior**

A construção de um pátio interior é outra solução de ventilação e tratamento complexo, uma vez que sobre ele atuam vários fenómenos em simultâneo, sendo difícil isolar o contributo de cada um. O seu efeito ambiental consiste em criar um espaço aberto dentro do volume do edifício, que gere um microclima específico relativamente controlado e atua como filtro entre as condições exteriores e interiores. Em relação ao tratamento do ar, atua sobre a temperatura e humidade, sempre por efeito evaporativo, nos casos em que exista uma fonte de água dentro deste espaço. Estes espaços também contribuem para a proteção do ambiente interior da radiação solar direta, mantendo a temperatura do ar baixa. A possível existência de vegetação é uma mais-valia, uma vez que intensifica a entrada de humidade para o interior do edifício (Serra, 2000).

3. Análises de Casos de Estudo

São inúmeros os exemplos de edifícios projetados e construídos a nível mundial com base nas estratégias bioclimáticas referidas anteriormente. No entanto, neste subcapítulo apenas se fará referência a quatro exemplos que representaram e representam contributo para o desenvolvimento dos ideais do projeto bioclimático.

Assim, o primeiro edifício apresentado trata-se de um dos pioneiros a nível mundial, a ser projetado com base em estratégias bioclimáticas, autoria do arquiteto Frank Lloyd Wright, o segundo edifício apresentado foi um dos primeiros edifícios bioclimáticos a ser construído em Portugal e continua a ser um exemplo a seguir, o terceiro edifício trata-se do vencedor do Prémio DGE 2003 de Eficiência Energética em Edifícios na categoria “Edifício Residencial” e por fim, o último edifício apresentado, foi o primeiro edifício a ser projetado, em Portugal, com o objetivo de ter um balanço energético próximo de zero.

- **Jacobs House II**



Figura 3.18 – Jacobs House II ou Solar Hemicycle

(Fonte: Feldman Architecture, Inc., 2013)

Trata-se do projeto pioneiro no que diz respeito ao projeto solar passivo, com a forma baseada num semicírculo e com a fachada virada a norte enterrada (Figura 3.18). A parte norte do edifício, ao estar enterrada, fica protegida dos ventos frios de norte, que caracterizam o regime de inverno nesta região. No entanto, toda a fachada exposta a sul é envidraçada, permitindo a entrada de radiação para o interior do edifício e o posterior aquecimento do pavimento. Devido à forma côncava da fachada sul, o edifício beneficia da incidência solar durante todas as horas do dia no inverno e, ao ser complementado com palas na cobertura, fica protegido do sol durante o verão. O espaço interior é basicamente uma grande sala de pedra (fachada norte) e vidro (fachada sul), com 24 metros de comprimento e 5 metros de largura, no qual a cozinha se encontra no piso inferior e os quartos no piso superior (Figura 3.19) (Feldman Architecture, Inc., 2013).

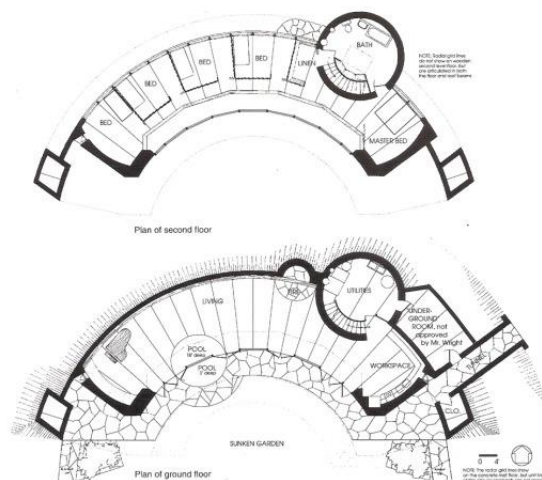


Figura 3.19 – Plantas da Jacobs House II (piso inferior e superior)

(Fonte: Feldman Architecture, Inc., 2013)

O edifício usufrui ainda das características da sua localização, numa zona natural com vegetação, aproveitando as vantagens das barreiras vegetais.

As soluções solares passivas permitem uma poupança média de 53% da energia necessária para aquecimento durante o inverno (Feldman Architecture, Inc., 2013).

- **Casa-laboratório Termicamente Otimizada – Casa Solar**



Figura 3.20 – Casa Termicamente Otimizada

(Fonte: AdEPorto, 2005)

A Casa Solar foi um dos primeiros projetos de uma habitação unifamiliar, realizados em Portugal, no qual se integraram vários sistemas de energia solar passiva (Figura 3.20). É portanto uma habitação projetada tendo por base um conjunto de conceitos e de propostas de solução, válidas no hemisfério norte, que visam assegurar as melhores condições de conforto no interior e com um consumo energético baixo (Figura 3.21) (AdEPorto, 2005).

Assim, em relação às medidas bioclimáticas aplicadas, a fachada com maior dimensão encontra-se exposta a sul, à qual estão associados todos os compartimentos com utilização mais permanente. No lado norte do edifício o terreno exterior é mais elevado e a fachada possui uma diminuta área de

vãos envidraçados. Também nas fachadas este e oeste as aberturas foram reduzidas por forma a controlar a incidência solar.

Em relação ao isolamento térmico, foi aplicado pelo exterior e de forma contínua. As fachadas e a cobertura possuem uma espessura de 5 cm de poliestireno expandido. Os vãos envidraçados são compostos por vidro duplo e são complementados com estores exteriores.

Na fachada sul, a existência de palas assegura um sombreamento efetivo durante o regime de verão, enquanto permite o acesso aos ganhos solares no regime de inverno (Figura 3.21).

O projeto deste edifício teve também em consideração o contributo da inércia térmica, sendo que o pavimento do rés-do-chão (exposto à maior área envidraçada do edifício) é composto por uma laje maciça revestida por ladrilho cerâmico e coberta parcialmente com tapetes. Para este edifício também foram projetadas seis colunas de água pintadas de cor escura, disposta estrategicamente de forma a aquecerem devido à radiação solar. No primeiro andar, no qual o pavimento é de madeira e os vãos envidraçados têm menores dimensões, projetaram-se paredes de trombe. Para além de todos estes contributos para a inércia térmica, soma-se o facto de as paredes divisórias serem mais espessas do que é normal, constituindo assim um núcleo de inércia térmica no centro do edifício.

Em relação à ventilação, o edifício beneficia da ventilação transversal noturna, garantida através da adequada colocação das aberturas e respetiva forma de abrir (bandeiras).

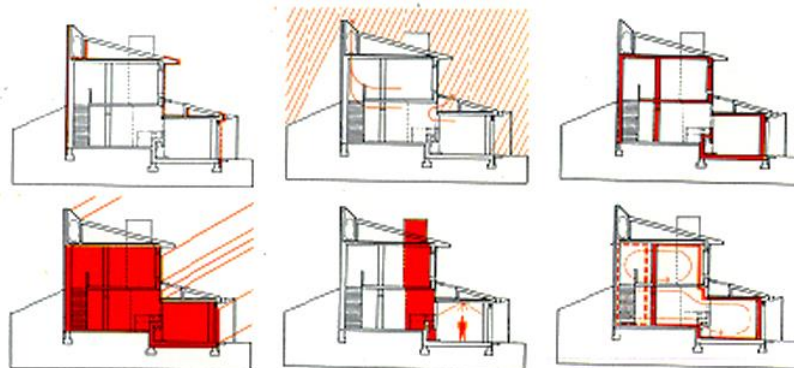


Figura 3.21 – Esquema das estratégias bioclimáticas aplicadas na CTO

(Fonte: AdEPorto, 2005)

Devido a estas estratégias implementadas no edifício, dos 4600 kWh/h de consumo de energia para o ambiente, 3200 kWh/ano são garantidos devido à contribuição solar (AdEPorto, 2005).

- **Casas em Janas**



Figura 3.22 – Casas em Janas

(Fonte: Rita, 2008)

Este projeto foi o vencedor do Prémio DGE 2003 de Eficiência Energética em Edifícios na categoria “Edifício Residencial” (Figura 3.22) (Nascimento & Gonçalves, 2005).

A estratégia adotada no projeto teve em consideração a implantação do edifício, tendo sido orientada segundo o eixo este-oeste, expondo a fachada sul à melhor orientação solar. A escolha da implantação teve ainda em consideração a proteção do edifício em relação aos ventos dominantes do quadrante noroeste, conseguida através da colocação de vegetação a norte e oeste do terreno envolvente.

A fachada norte é praticamente opaca, tendo apenas uma pequena janela e a porta de entrada. Já as fachadas este e oeste são completamente opacas. A fachada sul é servida por uma considerável área envidraçada. O edifício dispõe de um sistema de ventilação natural cruzada.

Em relação à disposição dos compartimentos, na zona norte do edifício localizam-se os compartimentos de serviços (cozinha e instalações sanitárias). A sala de estar e os quartos estão localizados na zona sul de cada habitação. Cada habitação dispõe ainda de um primeiro piso (mezanino) que se desenvolve a partir da sala de estar e corresponde a um espaço de trabalho (Figura 3.23) (Nascimento & Gonçalves, 2005).

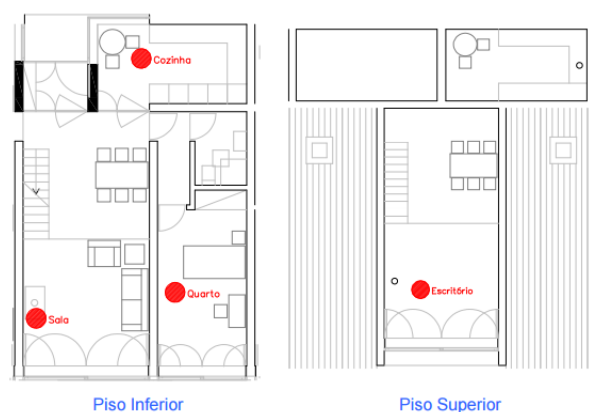


Figura 3.23 – Planta de uma moradia das Casas em Janas

(Fonte: Rita, 2008)

As fachadas exteriores têm 20 cm de espessura e são complementadas com 6 cm de isolamento colocado pelo exterior. As lajes são maciças e igualmente isoladas pelo exterior. As paredes interiores de separação de fogos são maciças por forma a aumentar a inércia térmica do edifício.

Em relação aos vãos envidraçados, estes são constituídos por vidro duplo, em caixilhos de madeira, sendo complementados por portadas de madeira interiores. Os vãos envidraçados têm ainda palas de sombreamento estruturais ao nível do rés-do-chão e do piso superior, sendo prevista a complementação deste sistema de sombreamento através da colocação de toldos de lona pelo exterior, durante o regime de verão.

Durante a fase de projeto, esperava-se que as estratégias delineadas conseguissem garantir uma redução no consumo energético em cerca de 95% durante o regime de inverno e em cerca de 75% durante o regime de verão. Após o início da fase de utilização, verificou-se que as estratégias cumpriam os objetivos definidos, sendo que os utilizadores não sentiram a necessidade de recorrer a meios de aquecimento auxiliar.

- **Edifício Solar XXI**



Arquitetos: Pedro Cabrito e Isabel Diniz

Proprietário: INETI

Localização: Lumiar, Lisboa

Início de Utilização: 2006

Caraterização: edifício de serviços (salas e gabinetes de trabalho) e laboratórios, área total de 1500m² dividida em 3 pisos, um dos quais semienterrado

Figura 3.24 – Edifício Solar XXI

(Fonte: INETI, 2005)

Segundo o INETI (2005), “A ideia inicial e objetivo central do projeto, é que o edifício possa responder positivamente às solicitações do clima de Lisboa, e que as condições de conforto térmico no seu interior sejam satisfeitas durante todo o ano. O edifício foi assim concebido numa lógica integradora de várias estratégias que no seu conjunto irão determinar o seu comportamento térmico final” (Figura 3.24).

Assim, uma das estratégias passa por potenciar os ganhos solares durante o regime de inverno e reduzi-los no regime de verão. Para isso, o edifício apresenta a fachada de maior dimensão exposta exatamente a sul e com a maior área de vãos envidraçados.

Uma outra estratégia passa pela otimização da qualidade térmica da envolvente (fachadas, cobertura e pavimentos). As fachadas exteriores têm 22 cm de espessura, com isolamento pelo exterior, sendo que a cobertura é também isolada pelo exterior. Os vãos envidraçados são constituídos por vidro duplo incolor, protegidos por estores exteriores de lâminas reguláveis.

Em relação à distribuição dos espaços no interior, as salas de ocupação permanente localizam-se na parte do edifício orientada a sul, de forma a aproveitar a insolação direta, promovendo os ganhos de calor no inverno. Na zona do edifício orientada a norte, encontram-se espaços laboratoriais e outras salas cuja ocupação não é tão permanente. Por fim, na zona central do edifício encontram-se as zonas de circulação iluminadas através de uma claraboia que ilumina os três pisos, tendo também a funcionalidade de ventilação por efeito de chaminé.

Uma outra estratégia adotada foi a integração de um sistema de arrefecimento pelo solo, permitindo o arrefecimento do ar a ser injetado no edifício durante o regime de verão, associando-se assim ao esquema de ventilação natural (Figura 3.25) (INETI, 2005).

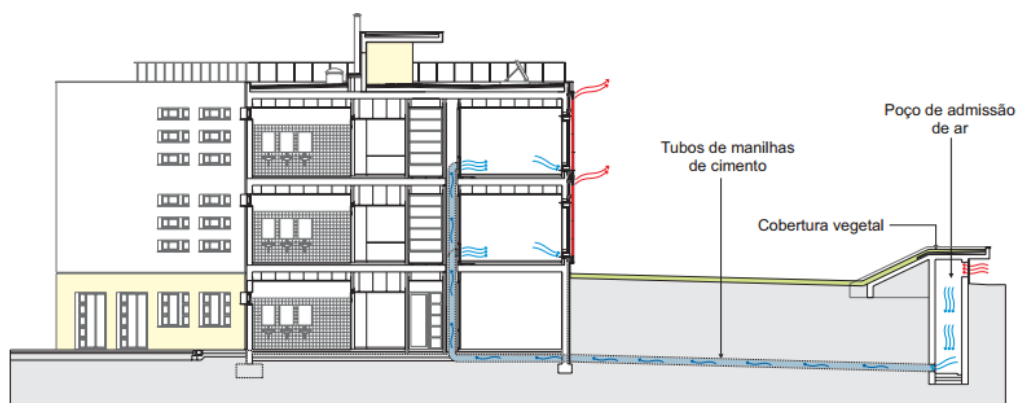


Figura 3.25 – Sistema de arrefecimento do ar através de tubos enterrados utilizado no Edifício Solar XXI

(Fonte: INETI, 2005)

Este edifício dispõe ainda de um sistema baseado no funcionamento das paredes de trombe, mas, neste caso, recorre a um sistema fotovoltaico colocado da fachada sul do edifício. Ao integrar os painéis nesta fachada, é possível aproveitar termicamente o calor produzido durante o regime de inverno (Figura 3.26).

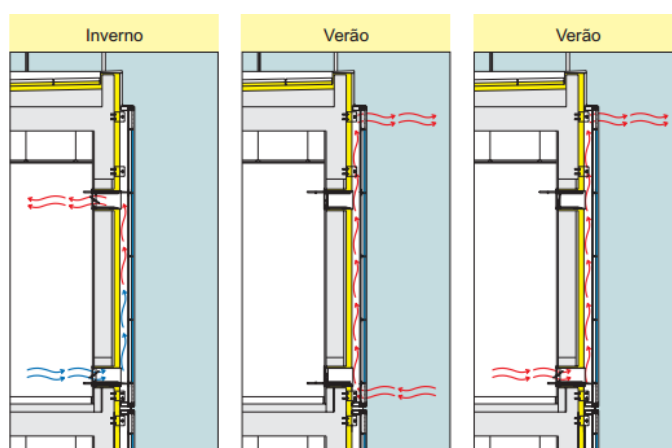


Figura 3.26 – Esquema de funcionamento do sistema fotovoltaico com aproveitamento térmico aplicado no Edifício Solar XXI

(Fonte: INETI, 2005)

Segundo a monitorização iniciada após a ocupação do edifício, é possível compreender que, durante o regime de verão, a temperatura no interior do edifício, que não dispõe de qualquer sistema de ar condicionado, mantém-se inferior a 27°C em 95% do período avaliado. Apenas durante o inverno, por vezes se torna necessário recorrer ao sistema de aquecimento instalado. Finalmente, segundo o RSECE (substituído pelo RECS) a classe energética do edifício é a A+, ou seja, a classe que representa o melhor desempenho energético (LNEG, 2010).

4. Síntese do Capítulo

Com a análise deste capítulo é possível compreender que, recorrendo a estratégias bioclimáticas, garantem-se condições de conforto térmico no interior dos edifícios, permitindo assim atingir um consumo mínimo de energia para aquecimento ou arrefecimento dos espaços.

Assim, é sempre necessário ter como princípio básico que, durante o regime de inverno, o objetivo passa por conservar o ar quente no interior do edifício, dificultando as perdas de calor por condução ou convecção e facilitando os ganhos obtidos através da radiação enquanto que, durante o regime de verão, o objetivo é o oposto, ou seja, evitar ganhos por condução, convecção ou devido à radiação e promover perdas por todos os meios possíveis.

Através deste capítulo também foi possível concluir que existem quatro parâmetros climáticos que influenciam as condições de conforto no interior do edifício, sendo eles: a radiação; a temperatura do ar; a humidade relativa; e o movimento do ar. Assim, estes parâmetros devem ser controlados ou alterados através da adoção de estratégias bioclimáticas. Sempre que o objetivo passar pela alteração dos parâmetros climáticos, as estratégias bioclimáticas têm de ser aplicadas ao nível do ambiente envolvente do edifício, através da criação de um microclima. No entanto, se não se quiser que os parâmetros climáticos tenham influência negativa sobre o interior do edifício, as estratégias devem ser aplicadas ao edifício em si, quer seja através do desenho e organização dos espaços, da composição e localização dos vãos e/ou dos elementos construtivos.

Apesar de a maioria das estratégias bioclimáticas serem aplicadas durante a fase de construção e não necessitarem de alterações durante a fase de utilização, existem algumas que necessitam da intervenção do utilizador para serem acionadas quando são necessárias.

Na Tabela 3.5 apresentam-se todas as estratégias bioclimáticas que anteriormente foram referidas, organizadas segundo o tipo de estratégia.

Analisadas as diferentes estratégias e os contributos das mesmas para a melhoria do desempenho dos edifícios, recorrendo a soluções passivas, é entendível o potencial da implementação das soluções.

Ressalta, no entanto, como preocupação a ausência de um conjunto de procedimentos estruturados possíveis de implementar para obtenção do máximo benefício das estratégias de utilização do clima para assegurar um conforto ambiental nos edifícios, em particular os de habitação.

Tabela 3.5 – Estratégias bioclimáticas segundo a tipologia

Envolvente	<ul style="list-style-type: none">- Edifícios e outros obstáculos construídos- Barreiras vegetais- Massas de água- Localização do edifício
Desenho e Organização	<ul style="list-style-type: none">- Forma do edifício- Orientação do edifício- Distribuição dos espaços interiores- Localização e dimensão das aberturas- Câmaras-de-ar- Pátio interior
Elementos Construtivos	<ul style="list-style-type: none">- Proteções solares- Isolamento térmico- Massa térmica- Inércia térmica- Cor- Coletores de ar- Paredes e colunas de água
Intervenção do Utilizador	<ul style="list-style-type: none">- Proteções solares- Ventilação- Parede de trombe- Estufa

Coloca-se pois então a necessidade de desenvolvimento de um modelo de procedimentos e de seleção, de entre as estratégias bioclimáticas, quais as mais vantajosas de aplicar nos períodos de verão e inverno, e o seu efetivo contributo em termos económicos face a soluções preexistentes ou mesmo as utilizadas de forma corrente.

Assim, no capítulo seguinte, será desenvolvido e proposto um modelo como contributo para um projeto bioclimático.

Capítulo 4

Proposta de Modelo

O modelo proposto nesta dissertação pretende servir de guia a implementar na fase de conceção do projeto de um edifício de habitação, tendo como objetivo a aplicação de estratégias bioclimáticas ao longo das fases de projeto, para que se possa otimizar o desempenho energético do edifício.

A criação deste modelo e a escolha dos parâmetros de otimização baseou-se na interpretação dos dados e processos constantes no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), adotando-se uma sequência de fases que procura garantir o alcance da otimização do desempenho energético do edifício, recorrendo apenas à vertente bioclimática. Cada fase tem por base os ideais bioclimáticos apresentados no capítulo anterior, sendo por isso essencial a leitura do mesmo antes de se proceder à aplicação do modelo, de forma a conhecer quais as melhores estratégias bioclimáticas a adotar no edifício de habitação que se pretende projetar (Figura 4.1). A validação das diferentes escolhas realizadas ao longo da conceção do projeto baseia-se na determinação dos ganhos e perdas energéticos que determinada solução representa.

Compreenda-se que, tal como foi referido anteriormente, os requisitos de um edifício durante o regime de inverno são completamente distintos dos que se registam no regime de verão. Desta forma, pretende-se para qualquer circunstância que se obtenham ganhos térmicos elevados e transferências de calor (por transmissão e ventilação) baixas durante o regime de inverno, ao passo que no regime de verão se pretende atingir o inverso. Neste modelo, irá passar-se a denominar o regime de inverno e regime de verão por estação de aquecimento e estação de arrefecimento¹, respetivamente, para se estar em concordância com os parâmetros definidos no REH.

Assim, de uma forma genérica, o modelo assenta em nove fases. Dependendo da fase do modelo de projeto bioclimático, pode ser necessário executar várias etapas. O modelo é acompanhado por uma ficha (constante no Anexo A) que deve ser preenchida ao longo do processo de aplicação do mesmo, para que assim sejam mais perceptíveis os dados necessários para que a aplicação do modelo seja bem-sucedida.

Tal como foi referido anteriormente existem estratégias bioclimáticas que não são tão frequentes ou que se possam aplicar a todos os projetos de edifício de habitação. Para além da questão da adaptabilidade, muitas das vezes a implementação de estratégias como paredes de trombe, estufas, coletores de ar, paredes e colunas de água e pátios interiores, torna-se supérflua para o clima

¹ A estação de aquecimento vai desde o dia 1 de Outubro até 31 de Maio (8 meses), enquanto que a estação de arrefecimento se inicia a 1 de Junho e termina a 30 de Setembro (4 meses).

temperado que se faz sentir em Portugal, constituindo muitas vezes um custo acrescido à fase de construção do edifício, não se verificando um retorno a longo prazo.

Este modelo pode ser aplicado ao projeto de edifícios de habitação unifamiliares e multifamiliares, que se localizem em zonas não urbanizadas ou já urbanizadas e ainda ao projeto de edifícios novos ou a projetos de reabilitação de edifícios, sendo apenas necessária a adaptação do modelo, reduzindo o número de fases a aplicar e dando maior relevância às fases que possam compensar a não aplicação de determinadas fases.



Figura 4.1 – Esquema do modelo de projeto bioclimático proposto

1. Modelo de Projeto Bioclimático

i) Fase 1 – Localização e Clima

- Etapa 1 – Localização

O projeto de um edifício deve começar sempre pela escolha da melhor localização de implantação, sendo necessário ponderar os diversos parâmetros que influenciam o comportamento do edifício, para assim ser possível aplicar as medidas bioclimáticas com o melhor rendimento possível.

Assim, deve ter-se em conta a situação geográfica ou a latitude do local, a altura acima do mar e a orografia.

No entanto, como anteriormente foi referido, nem sempre é possível procurar a localização ideal para a implantação do edifício, uma vez que por vezes essa decisão precede a elaboração do projeto do edifício.

- **Etapa 2 – Caracterização Macroclimática**

Após a escolha da localização de implantação do edifício ou, no caso de não caber aos projetistas esta escolha, ser conhecida a localização pré-determinada, é necessário avaliar o clima característico da região na qual se insere o edifício. Para tal, deve seguir-se o Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013 de 3 de Dezembro (2013) que divide o território português em diversas zonas climáticas, segundo as estações de arrefecimento e aquecimento e no qual é possível obter os dados relacionados com a radiação e a temperatura. Para obter os parâmetros relacionados com o movimento do ar deve recorrer-se às Normas Climatológicas da estação mais próxima da localização de implantação. É possível recorrer a outras fontes de dados, sendo sempre necessário verificar a sua veracidade.

- **Etapa 3 – Caracterização Microclimática**

É necessário compreender a influência que o meio envolvente mais próximo do edifício terá sobre o clima, sendo necessário prestar especial atenção a:

- Edifícios e outras barreiras construídas;
- Vegetação existente;
- Presença de massas de água.

Em relação à presença de edifícios e outras barreiras construídas, é necessário compreender se um determinado obstáculo terá ou não influência nos ventos que atingem o edifício a projetar.

O Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro (2013) define três classes de proteção ao vento – desprotegido, normal e protegido, – sendo determinada em função da distância dos obstáculos ao edifício a construir e da sua altura, sendo também necessário ter em conta os vários níveis do edifício a construir (Figura 4.2).

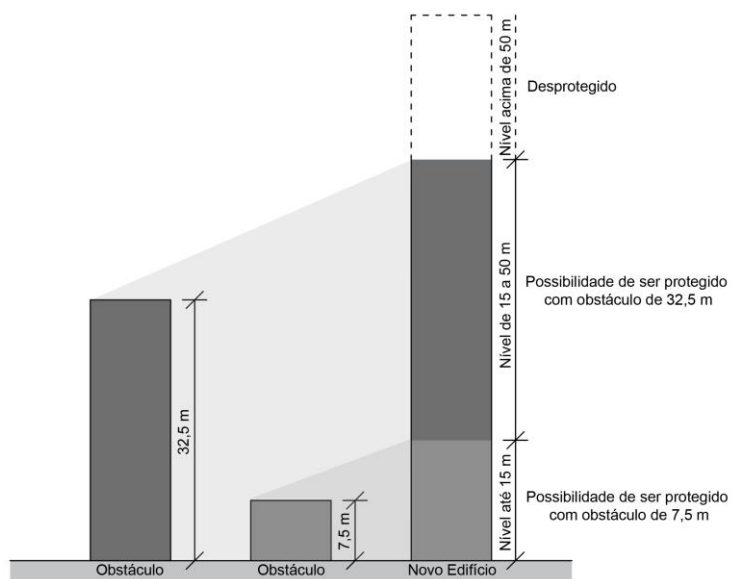


Figura 4.2 – Condições para determinação das classes de proteção ao vento

Finalmente para compreender a classe de proteção, é necessário estabelecer a relação entre a distância ao obstáculo e a altura do mesmo, tal como representado na Tabela 4..

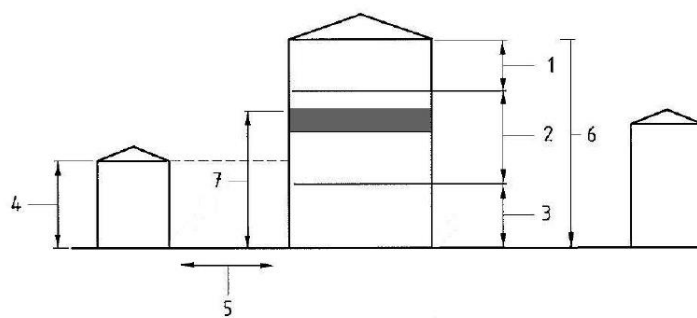
Tabela 4.1 – Classe de proteção ao vento da fração
(Adaptado de Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Classe de proteção	Desprotegido	Normal	Protegido
$\frac{D_{obs}}{H_{obs}}$	> 4	1,5 a 4	< 1,5

em que:

H_{obs} – altura do obstáculo/edifício situado em frente à vertente, correspondente à maior distância entre o ponto mais alto da fachada (nível da cobertura) e o nível do terreno, em m (Figura 4.3);

D_{obs} – distância ao obstáculo, correspondente à maior distância entre a vertente do edifício a projetar e a fachada do obstáculo/edifício situado em frente, em m (Figura 4.3).



- 1 - Zona superior (mais de 50 m)
- 2 - Zona média (15 a 50 m)
- 3 - Zona inferior (menos de 15 m)
- 4 - Altura do obstáculo (H_{obs})
- 5 - Distância ao obstáculo (D_{obs})
- 6 - Altura do edifício
- 7 - Altura da fração

Figura 4.3 – Indicação das dimensões relevantes para avaliar a proteção ao vento da fração

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Nesta etapa do projeto, é essencial avaliar quais as vertentes do edifício que poderão vir a ser sombreadas, sendo necessário listar as orientações dos edifícios existentes que poderão constituir barreiras. O nível de sombreamento causado por determinado obstáculo depende da sua altura, do afastamento ao edifício a projetar e da sua orientação.

Esta análise permitirá compreender se uma determinada fachada ou vão envidraçado do edifício a projetar ficará sombreado ou não. Através da observação da Figura 4.4 é possível compreender quais as orientações mais facilmente sombreáveis através da adaptação da geometria do novo edifício aos obstáculos pré-existentes, sendo que a exposição à orientação norte não se consegue sombrear e a exposição à orientação sul é a que melhor se consegue sombrear.

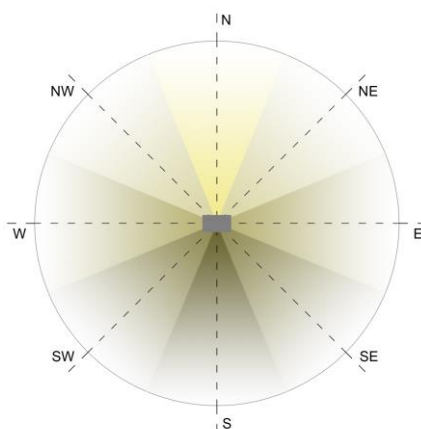


Figura 4.4 – Graus de sombreamento para os diferentes octantes (para ângulos do horizonte superiores a 20°)

Em relação à vegetação existente, torna-se complicada a tarefa de determinar a influência que esta representa na redução da radiação solar incidente e na alteração da velocidade do movimento do ar. Este facto deve-se às inúmeras variáveis que caracterizam as barreiras vegetais, por exemplo, a composição (arbustos ou árvores), a altura da árvore ou arbusto, a largura, forma e altura da copa da árvore, a densidade, forma e tipo de folhagem, entre outras.

Desta forma, neste modelo, apenas se considera necessário ter algumas noções básicas da influência das barreiras vegetais.

Para esta fase de caracterização do microclima, propõe-se que apenas se verifique a existência de vegetação nas várias orientações e se faça uma breve caracterização da mesma. Em relação ao efeito de sombreamento causado pela vegetação, apenas interessa avaliar a que se encontra mais próxima da futura localização do edifício, dependendo sempre da altura da vegetação e da orientação da vertente, podendo considerar-se a análise da vegetação que se encontra dentro de um limite de 2 vezes a altura da vegetação medido a partir do limite da localização de implantação. No caso da influência das barreiras vegetais na intensidade do vento, esta pode registar-se devido a vegetação mais distante, considerando-se então uma análise dentro de um limite até 12,5 vezes a altura da vegetação.

Por fim, em relação às massas de água, apenas é necessário verificar a sua existência e caracterizar a tipologia da mesma (mar, rio, lagoa, charco ou chafariz, por exemplo), sendo que, dependendo da dimensão da mesma a sua influência varia.

ii) Fase 2 – Forma e Orientação

O primeiro passo desta fase passa por estudar qual a melhor forma do corpo do edifício. Segundo o RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, 2006) a razão entre a superfície da envolvente (A_{env}) e o volume do edifício (V_{edif}), denomina-se por fator de forma, considerando-se para este modelo que se deve obter uma razão inferior a 0,5.

Quando se pretende diminuir o fator de forma deve aumentar-se a largura e/ou profundidade do edifício, sendo que a cêrcea do mesmo não tem qualquer influência.

Apesar de a altura não influenciar o fator de forma, o mesmo não se verifica quando se tem em conta o movimento do ar, visto que velocidade do vento aumenta com a altura. Desta forma, se o vento da localização escolhida for intenso deve prestar-se atenção à altura do edifício.

Ao mesmo tempo que se projeta uma forma do edifício que garanta um fator de forma baixo, é necessário garantir, dentro do possível, que se exponha a maior área possível da envolvente ao sol e a menor possível aos ventos intensos e predominantes.

Para que se exponha a maior área possível da envolvente ao sol, deve orientar-se o eixo do edifício de maior dimensão perpendicularmente à orientação sul, ou seja, segundo este-oeste. Se não se conseguir garantir uma orientação a sul verdadeiro, é possível adotar uma rotação do eixo até 20° para cada lado (Figura 4.5).

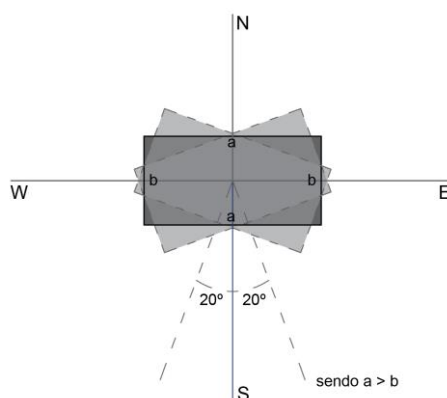


Figura 4.5 – Regras a aplicar na escolha da forma e orientação do edifício

iii) Fase 3 – Espaços Interiores

Por vezes, pode ser vantajoso realizar a fase 2 e 3 em simultâneo, uma vez que as áreas a atribuir a cada compartimento (A_{pav}) podem condicionar a forma do edifício. Em todo o caso deve procurar-se sempre a solução mais vantajosa a nível bioclimático.

Na Tabela 4.2 são apresentadas as orientações preferenciais às quais se devem expor os diversos compartimentos constituintes de um edifício de habitação. No entanto, no caso de não ser possível localizar todos os compartimentos segundo a orientação mais desejável, existe uma gama de orientações nas quais se garante um bom desempenho do espaço.

Tabela 4.2 – Orientação dos vários compartimentos de um edifício de habitação

Compartimento	Orientação desejável	Orientação possível
Sala de estar	Sul	Sudeste a Oeste
Sala de jantar	Sudoeste	Sudeste a Oeste
Sala comum	Sul	Sudeste a Oeste
Quarto adultos	Sudeste	Nordeste a Sul
Quarto crianças	Sul	Nordeste a Sul
Escritório	Oeste	Sudoeste e Oeste
Cozinha	Este	Nordeste a Sudeste
Instalações sanitárias	Norte	Oeste a Este
Despensa / lavandaria	Norte	Noroeste a Nordeste
Espaços de circulação	Norte	Oeste a Este
Garagem	Norte	Noroeste a Nordeste
Terraços / varandas	Sul	Sul a Oeste

A finalidade desta fase é garantir a correta localização do maior número possível de compartimentos, procurando-se sempre localizar primeiramente os compartimentos de utilização permanente. A localização de compartimentos que não estejam listados na Tabela 4.2 deve ser escolhida em comparação com compartimentos que apresentem utilização semelhante à dos compartimentos apresentados na Tabela 4.2.

iv) Fase 4 – Vãos Envidraçados e Elementos de Proteção Solar

- Etapa 1 – Localização e Dimensão dos Vãos Envidraçados**

Na concretização desta etapa é necessário ter em atenção o efeito da radiação nas diversas orientações e ter em conta o uso do compartimento no qual se projeta determinado vão envidraçado. A escolha da localização dos vãos envidraçados é influenciada pela orientação das diversas fachadas. O Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013 de 3 de Dezembro (2013) define fatores (de redução) de orientação para as diferentes exposições, tal como apresentado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Fator de orientação para as diferentes exposições
(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Orientação do vão (j)	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H²
X_j	0,27	0,33	1	0,84	0,56	0,89

² Os vãos envidraçados serão considerados horizontais quando apresentarem inclinação inferior a 60° face ao plano horizontal, sendo as restantes consideradas verticais.

Como é possível concluir, através da análise dos valores apresentados na Tabela 4.3, as exposições que recebem menor quantidade de radiação solar são a norte, seguindo-se as nordeste e noroeste. Desta forma compreende-se que os vãos envidraçados devem ser colocados essencialmente em fachadas com orientação a sul, a sudeste, sudoeste e na cobertura (no caso das três últimas exposições, a área de vãos envidraçados não pode ser muito elevada devido aos ganhos solares indesejáveis durante o regime de verão).

É necessário definir a área de vãos envidraçados para cada compartimento e/ou orientação, assim como o tipo de vão envidraçado, ou seja, a composição do vidro e o material da caixilharia.

Ao definir a área das aberturas é possível compreender o ganho solar que cada uma representa, sendo que a avaliação pode ser feita para cada abertura individualmente, para um compartimento, para uma fração ou até para um edifício.

O cálculo dos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento ($Q_{sol,i}$), é calculado através da expressão:

$$Q_{sol,i} = G_{Sul} \cdot \sum_j \left[X_j \cdot \sum_n F_{s,i_nj} \cdot A_{s,i_nj} \right] \cdot M \quad (\text{kWh}) \quad (1)$$

em que:

X_j – fator de orientação para as diferentes exposições de acordo com a Tabela 4.3;

F_{s,i_nj} – fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento;

A_{s,i_nj} – área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j (m^2);

M – Duração média da estação convencional de aquecimento (mês).

O valor da área efetiva coletora $A_{s,i}$ deve ser calculado vão a vão, tendo em conta a área total (em m^2) do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho (A_w), a fração envidraçada do vão (F_g) e um fator solar de inverno (g_i) que depende da composição do vidro escolhido ($g_{\perp,vi}$) e da variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar direta ($F_{w,i}$). Recorrendo-se à expressão seguinte obtém-se então o valor da área efetiva coletora:

$$A_{s,i_nj} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad (\text{m}^2) \quad (2)$$

sendo que:

$$g_i = F_{w,i} \cdot g_{\perp,vi} \quad (3)$$

Para o cálculo do fator solar de inverno (g_i), o fator de variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar direta ($F_{w,i}$) é igual a 0,9, enquanto que o valor do fator solar do vidro ($g_{\perp,vi}$) pode ser fornecido pelo fabricante ou consultado na Tabela B.1. A determinação da fração envidraçada depende do tipo de caixilharia, sendo que o Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro (2013) define valores típicos da fração envidraçada de diferentes tipos de caixilharia (Tabela B.2).

Por outro lado, o fator de obstrução do vão envidraçado (F_s) representa a redução na radiação solar incidente nos vãos envidraçados, que pode ser causada por obstruções exteriores ao edifício, por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado ou por elementos verticais adjacentes ao envidraçado que pertençam ao corpo do edifício.

O Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro (2013) define a influência dos obstáculos na quantidade de radiação solar que atinge o edifício a projetar através do fator de sombreamento do horizonte (F_h), que representa a redução na radiação solar incidente, devido ao sombreamento causado por obstruções exteriores ao edifício. Esta redução depende do ângulo do horizonte³ (Figura 4.6), da latitude, da orientação e do clima local, sendo necessário recorrer a uma interpolação para determinar a verdadeira redução causada (Tabela B.6).

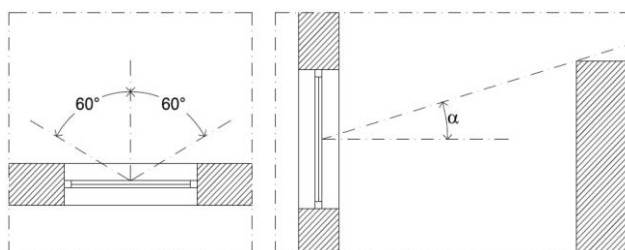


Figura 4.6 – Ângulo de horizonte α

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

O sombreamento causado por elementos horizontais sobrejacentes aos vãos envidraçados (F_o) ou por elementos verticais (F_f), depende do comprimento/ângulo da obstrução, da latitude, da exposição e do clima local, sendo que os seus valores são os que constam nas Tabela B.7, Tabela B.8, Tabela B.9 e Tabela B.10. O fator de obstrução calcula-se de acordo com a seguinte equação:

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad (4)$$

Sempre que um vão envidraçado projetado não se localize à face exterior da fachada, o produto $F_o \cdot F_f$ não deve ser superior a 0,90, para ter em conta o sombreamento causado pelo contorno do vão.

No entanto, é necessário existir um parâmetro que defina se a área de vão envidraçado definida está bioclimaticamente bem projetada. Para este modelo optou-se por seguir a condição de que os ganhos solares que determinado vão envidraçado garante devem ser, dentro do possível, superiores às perdas de calor por transmissão para a estação de aquecimento.

A transferência de calor por transmissão, na estação de aquecimento, através dos vãos envidraçados ($Q_{tr,i}$), é calculada segundo a expressão definida no Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013 de 3 de Dezembro (2013):

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i} \quad (\text{kWh}) \quad (5)$$

³ O ângulo de horizonte é definido como o ângulo entre o plano horizontal e a reta que passa por um determinado ponto no edifício a avaliar e pelo ponto mais alto da maior obstrução existente entre dois planos verticais que fazem 60º para cada um dos lados da normal ao ponto analisado.

em que:

$H_{tr,i}$ – coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento (W/°C).

Como nesta fase apenas se pretende analisar as perdas de calor por transmissão através dos vãos envidraçados, o valor de $H_{tr,i}$ resulta da expressão:

$$H_{tr,i} = H_{ext_w} = U_{wdn} \cdot A_w \quad (\text{W/}^\circ\text{C}) \quad (6)$$

O valor do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados (U_{wdn}), pode ser facultado pelo fornecedor ou consultado no ITE 50 (LNEC, 2006).

• Etapa 2 – Localização e Dimensão das Proteções Solares

Na estação de arrefecimento é necessário prever a colocação de proteções solares, nos vãos envidraçados definidos na etapa anterior, para que se minimizem os ganhos solares resultantes da radiação solar incidente.

Qualquer que seja o elemento de sombreamento selecionado, deve compreender-se que os dispositivos permanentes podem reduzir os ganhos solares na estação de aquecimento, sendo necessário ponderar entre o sombreamento necessário durante a estação de arrefecimento e o ganho solar imprescindível na estação de aquecimento. Como foi possível compreender através da descrição da etapa anterior, as proteções solares móveis consideram-se sempre desativadas durante a estação de aquecimento, não tendo impacte nos ganhos solares dos vãos envidraçados. Segundo o Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013 de 3 de Dezembro (2013), os ganhos solares na estação de arrefecimento resultantes da radiação solar incidente na envolvente envidraçada, calculam-se de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{sol,v} = \sum_j \left[I_{sol_j} \cdot \sum_n F_{s,v_{nj}} \cdot A_{s,v_{nj}} \right] \quad (\text{kWh}) \quad (7)$$

O fator de obstrução da superfície de um determinado vão envidraçado, com uma determinada orientação (F_s), calcula-se de acordo com a equação (4). No entanto, para a estação de arrefecimento não se tem em conta o sombreamento causados pelos obstáculos que se localizam na envolvente do edifício, considerando-se desta forma $F_h = 1,00$.

Já em relação ao valor da área efetiva coletora de radiação solar da superfície de um vão envidraçado, com uma determinada orientação, calcula-se de uma forma distinta da que foi utilizada para a estação de aquecimento:

$$A_{s,v_{nj}} = A_w \cdot F_g \cdot g_v \quad (\text{m}^2) \quad (8)$$

O único parâmetro que se calcula de uma forma distinta na equação anterior é o fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento (g_v), uma vez que, neste caso, é necessário considerar a colocação de proteções solares, resultando na seguinte expressão:

$$g_v = F_{mv} \cdot g_T + (1 - F_{mv}) \cdot g_{TP} \quad (9)$$

em que:

F_{mv} – fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados;

g_T – fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados;

g_{TP} – fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes.

A fração de tempo em que os dispositivos móveis se devem encontrar totalmente ativados (F_{mv}) depende da orientação do vão, sendo que as proteções solares móveis que devem passar mais tempo ativadas são aquelas que se encontram em vãos envidraçados horizontais ou a sudeste e sudoeste, tal como é possível compreender através da avaliação dos valores apresentados na Tabela B.3 e que devem ser utilizados no cálculo da equação anterior.

No caso de não existirem dispositivos de proteção solar móveis, F_{mv} considera-se igual a 0.

O fator solar global de um vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas (g_T) depende do fator solar do vidro ($g_{\perp,vi}$), do número de vidros (simples ou duplo) e do fator solar do vão envidraçado corrente com um dispositivo de proteção solar totalmente ativado (g_{Tvc}), de acordo com as expressões seguintes:

- Para vidro simples:

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,85} \quad (10)$$

- Para vidro duplo:

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,75} \quad (11)$$

Os valores correntes do fator g_{Tvc} dependem de vários parâmetros:

- Posição do dispositivo de proteção – proteções exteriores ou interiores, sendo que os melhores valores correspondem às proteções exteriores;
- Tipo de dispositivo de proteção;
- Cor do dispositivo de proteção, sendo que os dispositivos claros correspondem a melhores valores;
- Número de vidros – vidro simples ou duplo, sendo que os melhores valores correspondem aos vidros duplos.

Desta forma, apresentam-se na Tabela B.5 os valores correntes de g_{Tvc} que devem ser utilizados para o cálculo das equações anteriores.

Note-se que no produtório das equações 10 e 11, deverão ser consideradas as proteções solares existentes ordenadamente do exterior para o interior, até à primeira proteção solar opaca, inclusive. Desta forma, no caso de existir pelo menos um dispositivo de proteção opaco exterior ao vidro, a influência do vidro não se considera e assim sendo, o produtório não é afetado pelo fator solar do vidro $g_{\perp,vi}$.

Em relação ao fator global do envidraçado, com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes (g_{TP}), no caso de não se projetarem dispositivos de proteção solar fixos, g_{TP} corresponde a $F_{w,v} \cdot g_{\perp,vi}$. Entende-se por dispositivos de proteção solar fixos os sistemas de sombreamento compostos por elementos como palas, lamelas ou toldos, que se encontram no exterior e em frente ao vão envidraçado e que não podem ser removidos. O problema associado a este tipo de sistema é o facto de criarem sombreamento também na estação de aquecimento, altura na qual é indesejável. A influência destes sistemas de sombreamento é aplicada através do fator g_{TP} , podendo tomar o valor de 0,32 (Olgay, 1998, citado por Palhinha, 2009).

Os sistemas de proteção solar incluídos no corpo da construção, como palas, varandas e saliências verticais, apesar de constituírem um sombreamento permanente, a sua influência é apenas considerada através dos fatores de sombreamento de elementos verticais e horizontais (F_f e F_o).

Para a estação de arrefecimento, os fatores de variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar direta ($F_{w,v}$) devem ser obtidos através da Tabela B.4.

Nesta fase de localização e dimensionamento dos dispositivos de proteção solar existem algumas condições a obedecer, sendo estas definidas pela Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de Novembro (2013) e aplicadas sempre que a área dos vãos envidraçados que servem um determinado compartimento (A_w) seja superior a 5% da área de pavimento do compartimento (A_{pav}) e desde que não orientados no quadrante norte. Assim, os envidraçados que cumpram as condições anteriores devem obedecer às seguintes condições para o fator solar global do vão envidraçado com os dispositivos de proteção totalmente ativados (g_T):

- Se $A_w \leq 15\% \cdot A_{pav}$

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{T_{m\acute{a}x}} \quad (12)$$

- Se $A_w > 15\% \cdot A_{pav}$

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{T_{m\acute{a}x}} \cdot \frac{0,15}{\frac{A_w}{A_{pav}}} \quad (13)$$

O valor do fator solar global máximo admissível dos vãos envidraçados ($g_{T_{m\acute{a}x}}$) depende da zona climática da estação de arrefecimento e da classe de inércia do edifício, que apenas será determinada numa fase posterior do modelo, no entanto, de acordo com o que foi referido anteriormente, o objetivo será garantir uma classe de inércia forte. Os valores de $g_{T_{m\acute{a}x}}$ são obtidos na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados

(Fonte: Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de Novembro, 2013)

$g_{T_{m\acute{a}x}}$	Zona Climática		
	V1	V2	V3
Classe de Inércia			
Fraca	0,15	0,10	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

v) Fase 5 – Isolamento Térmico

• Etapa 1 – Caracterização dos Ambientes de Fronteira

Para que se possa projetar a solução de isolamento térmico de um edifício é necessário, antes de tomar qualquer decisão, analisar quais os ambientes com os quais os elementos da envolvente do edifício estarão em contacto. Assim, é necessário identificar todos os elementos da envolvente que contactam com o ambiente exterior, com outros edifícios, com espaços não úteis e com o solo.

Em relação aos espaços não úteis, existem duas classes distintas, sendo definidas de acordo com as perdas por transmissão que determinado espaço não útil representa. O aspeto que define o valor das perdas por transmissão do espaço útil para o não útil é a diferença de temperaturas entre estes dois espaços e o espaço não útil e o ambiente exterior, sendo que quanto maior for a diferença de temperaturas entre o espaço útil e o não útil e quanto mais próximo o valor da temperatura do espaço não útil for da do ambiente exterior, maior será o fluxo de calor e maiores serão as perdas. Assim, no caso de as perdas por transmissão serem elevadas, considera-se que o espaço não útil equivale a um espaço exterior, designando-se por “envolvente interior com requisitos de exterior”, nos restantes casos, considera-se que o espaço é não útil, designando-se por “envolvente interior com requisitos de interior”. Para se compreender qual o contributo de um espaço não útil para as perdas por transmissão, o Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro (2013) recorre a um coeficiente de redução de perdas (b_{tr}), que traduz a redução da transmissão de calor. O valor de b_{tr} do edifício a projetar calcula-se através da taxa de renovação do ar (A_i/A_u), sendo que os valores de b_{tr} são obtidos através da Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

b_{tr}	$V_{enu} \leq 50m^3$		$50m^3 < V_{enu} \leq 200m^3$		$V_{enu} > 200m^3$	
	f	F	f	F	f	F
$A_i/A_u < 0,5$	1,0		1,0		1,0	
$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
$1 \leq A_i/A_u < 2$	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
$2 \leq A_i/A_u < 4$	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
$A_i/A_u \geq 4$	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

em que:

A_i – somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil;

A_u – somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior;

V_{enu} – volume do espaço não útil;

f – ventilação fraca – espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas;

F – ventilação forte – espaço não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas.

Considera-se que, sempre que o valor do coeficiente b_{tr} for superior a 0,7, se está na presença de um elemento classificado como “envolvente interior com requisitos de exterior”. Para valores iguais ou inferiores a 0,7 está-se portanto na presença de um elemento classificado como “envolvente interior com requisitos de interior”.

O objetivo que se pretende atingir é a classificação da maior área possível de elementos da envolvente que separam o espaço interior útil do espaço não útil como “envolvente interior com requisitos de interior”. Se o alcance deste objetivo não for possível, a solução passará pela aplicação dos requisitos mínimos definidos para a envolvente exterior à “envolvente interior com requisitos de exterior”. É necessário compreender que ao se aumentar a área dos elementos que separam o espaço interior útil em relação à área dos elementos que separam o espaço interior não útil do espaço exterior, se está a aproximar da possibilidade de atingir o objetivo definido. O mesmo se verifica quando, ao mesmo tempo que se procura a anterior relação de áreas, se reduz o volume dos espaços não úteis.

Nesta primeira fase de análise do corpo do edifício, é também necessário identificar todas as zonas de qualquer elemento opaco que constituem zona de ponte térmica plana, podendo fazer-se uso da lista de pontes térmicas planas apresentada anteriormente e da Figura 3.11 no processo de identificação das possíveis pontes térmicas.

Note-se que não se contabilizam pontes térmicas lineares em paredes de compartimentação que intersejam paredes, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior ou com espaços não úteis, assim como paredes interiores que separem um espaço interior útil de um espaço não útil ou de um edifício adjacente no caso de $b_{tr} \leq 0,7$.

- **Etapa 2 – Soluções de Isolamento Térmico**

Para que se possa projetar o isolamento térmico de um edifício da forma mais bioclimática possível, é necessário cumprir determinadas condições e tentar atingir certos valores de referência.

Assim, a Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de Novembro (2013) define os coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos para a zona corrente da envolvente opaca do edifício, incluindo paredes, pavimentos ou coberturas (Tabela B.11).

Os coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis dependem da zona climática na qual se insere a localização do edifício, do ambiente com o qual o elemento da envolvente contacta e da posição do elemento (vertical ou horizontal). Torna-se imprescindível compreender que os valores apresentados na Tabela B.11 não devem ser utilizados como regra, podendo ser atingidos apenas em casos excecionais, já que estes valores são demasiado elevados para o objetivo que se pretende atingir com este modelo de projeto bioclimático.

Já em relação às pontes térmicas planas, a Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de Novembro (2013) define que estas devem ter um valor do coeficiente de transmissão térmica (U_{PTP}), calculado de forma unidimensional na direção normal à envolvente, que cumpra as seguintes condições:

- $U_{PTP} \leq 2 \cdot U$ dos elementos homólogos adjacentes (verticais e horizontais) em zona corrente;
- $U_{PTP} \leq U_{m\acute{a}x}$ definidos na Tabela B.11.

No caso de se garantir que U_{PTP} seja igual ou inferior a 0,9 W/(m².°C) não é necessário verificar o disposto nos dois pontos anteriores.

A Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de Novembro (2013) define também valores de referência para os coeficientes de transmissão térmica superficiais (U_{ref}) e lineares (ψ_{ref}) das zonas correntes da envolvente e para as ligações que podem constituir pontes térmicas, respetivamente. Estes valores, apesar de não serem definidos como valores limite, podem ser utilizados como referência para o projeto do isolamento térmico do edifício. No caso de se conseguirem atingir valores de U e/ou ψ inferiores ou iguais aos apresentados nas Tabela B.12 e Tabela B.13, pode afirmar-se que o isolamento térmico do edifício está bioclimaticamente bem projetado, visto que a Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de Novembro (2013) aponta estes valores como bons indicadores.

Desta forma, está-se em condições de se selecionar a solução de isolamento térmico mais correta, procedendo-se à escolha do material de isolamento térmico, da espessura da camada, da localização (pelo exterior é a melhor solução) e todas as decisões que estão relacionadas com este tema, nunca se descurando o referido anteriormente. Os valores da condutibilidade térmica (λ) ou da resistência térmica (R) dos materiais de construção com utilização mais frequente podem ser consultados no ITE 50 (LNEC, 2006).

A avaliação e seleção das soluções construtivas deve ser executada para cada fração separadamente.

Para que a aplicação deste modelo seja o mais elucidativa possível, apresenta-se de seguida uma breve explicação de como se calculam os valores dos coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos de componentes e elementos dos edifícios. O valor de U de elementos constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constante, é calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})) \quad (14)$$

em que:

R_j – resistência térmica da camada j (m².°C/W);

R_{si} – resistência térmica superficial interior (m².°C/W);

R_{se} – resistência térmica superficial exterior (m².°C/W).

Como habitualmente os materiais são caracterizados pelo seu valor de condutibilidade térmica (λ) e, sendo necessário determinar o valor da resistência térmica da camada j (R_j), é necessário

estabelecer uma relação entre ambos. Assim, para se obter o valor de R_j recorre-se à seguinte expressão:

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda_j} \quad (\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})) \quad (15)$$

em que:

e_j – espessura da camada j (m);

λ_j – condutibilidade térmica do material da camada j (W/(m.°C));

Já em relação aos valores das resistências térmicas superficiais interior e exterior (R_{si} e R_{se} , respetivamente), estes podem ser obtidos através da Tabela B.19.

É de notar que quando se calcula o coeficiente de transmissão térmica de um elemento que separa um espaço interior de um espaço não útil ou de um edifício adjacente, devem ser consideradas duas resistências térmicas superficiais interiores, correspondendo uma delas ao interior da fração e a outra ao interior do espaço não útil (ou edifício adjacente).

Sempre que alguma das soluções construtivas adotadas contenha uma camada que se traduza num espaço de ar não ventilado, é necessário ter em consideração o valor da resistência térmica dos espaços de ar não ventilados (R_{ar}). Estes valores podem ser consultados na Tabela B.20.

Segue-se uma explicação do cálculo dos valores de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o solo (U_{bf}) e de paredes em contacto com o solo (U_{bw}), baseando-se no Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro (2013). O valor de U_{bf} depende da resistência térmica de todas as camadas de pavimento (R_f), excluindo-se as resistências térmicas superficiais, da largura do isolamento perimetral horizontal ou da profundidade do isolamento perimetral vertical (D) e da dimensão característica do pavimento (B), que se determina através da seguinte expressão:

$$B' = \frac{A_p}{0,5 \cdot P} \quad (\text{m}) \quad (16)$$

em que:

A_p – área interior útil de pavimento, medida pelo interior (m²);

P – perímetro exposto, caracterizado pelo desenvolvimento total de parede que separa o espaço aquecido do exterior, de um espaço não aquecido ou de um edifício adjacente, ou do solo, medido pelo interior (m).

Os valores de U_{bf} encontram-se listados nas Tabela B.14, Tabela B.15 e Tabela B.16 no Anexo B.

O valor do coeficiente de transmissão térmica de paredes em contacto com o solo (U_{bw}) é função da resistência térmica da parede sem resistências térmicas superficiais (R_w) e da profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo (Z), podendo determinar-se através da Tabela B.17 no Anexo B.

Por fim, a determinação dos coeficientes de transmissão térmica lineares (ψ) pode ser feita com recurso aos valores indicados na Tabela B.18 no Anexo B.

- **Etapa 3 – Transferências de Calor por Transmissão**

Após a escolha das soluções construtivas de todos os elementos que necessitam de ter propriedades térmicas e da determinação dos coeficientes de transmissão térmica de todos eles, torna-se relevante avaliar a transferência de calor por transmissão, na estação de aquecimento e arrefecimento, através da envolvente dos edifícios.

Segundo o Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013 de 3 de Dezembro (2013), as perdas de calor por transmissão através da envolvente e que se registam durante a estação de aquecimento ($Q_{tr,i}$), são calculadas de acordo com a equação (5).

No caso da estação de arrefecimento, a transferência de calor por transmissão ($Q_{tr,v}$), que ocorre através da envolvente, calcula-se através da seguinte expressão:

$$Q_{tr,v} = \frac{H_{tr,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \cdot L_v}{1000} \quad (\text{kWh}) \quad (17)$$

em que:

$H_{tr,v}$ – coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento (W/°C);

$\theta_{v,ref}$ – temperatura de referência para o cálculo das necessidades de energia na estação de arrefecimento, igual a 25°C;

$\theta_{v,ext}$ – temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento (°C);

L_v – duração da estação de arrefecimento, igual a 2928 horas.

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão traduz a condutância através de toda a superfície dos elementos da envolvente, incluindo paredes, pavimentos, coberturas, vãos envidraçados e pontes térmicas planas. De acordo com o Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro (2013), os valores de $H_{tr,i}$ e de $H_{tr,v}$ resultam da aplicação das seguintes expressões:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad (\text{W/°C}) \quad (18)$$

e

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} \quad (\text{W/°C}) \quad (19)$$

em que:

H_{ext} – coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior (W/°C);

H_{enu} – coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis (W/°C);

H_{adj} – coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes (W/°C);

H_{ecs} – coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo (W/°C);

Para ambas as estações, os coeficientes de transferência de calor atrás listados são obtidos através das mesmas expressões:

$$H_{ext} = \sum_i (U_i \cdot A_i) + \sum_j (\psi_j \cdot B_j) \quad (W/^\circ C) \quad (20)$$

em que:

U_i – coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$);

A_i – área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício (m^2);

ψ_j – coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j ($W/(m \cdot ^\circ C)$);

B_j – desenvolvimento linear da ponte térmica linear j , medido pelo interior do edifício (m).

$$H_{enu,adj} = b_{tr} \cdot \left(\sum_i (U_i \cdot A_i) + \sum_j (\psi_j \cdot B_j) \right) \quad (W/^\circ C) \quad (21)$$

$$H_{ecs} = \sum_i (U_{bf_i} \cdot A_i) + \sum_j (z_j \cdot P_j \cdot U_{bw_j}) \quad (W/^\circ C) \quad (22)$$

em que:

U_{bf_i} – coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado, i ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$);

A_i – área do pavimento em contacto com o solo i , medida pelo interior do edifício (m^2);

z_j – Profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo j (m);

P_j – desenvolvimento total da parede em contacto com o solo j , medido pelo interior do edifício (m);

U_{bw_j} – coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo j ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$).

vi) Fase 6 – Massa Térmica e Inércia Térmica

• Etapa 1 – Determinação da Massa Térmica

O REH considera, de uma forma simplificada, que a capacidade térmica de um elemento construtivo depende apenas da sua massa superficial útil ($M_{s,i}$), desprezando a influência do calor específico característico dos vários materiais.

Desta forma, o modelo de projeto bioclimático apresentado faz referência aos valores do calor específico através da Tabela 3.4 para que o projetista possa compreender quais são as opções a ter em conta, realizando uma análise comparativa dos valores do calor específico e da massa volúmica dos diferentes materiais.

A massa superficial útil de cada elemento da construção é função da sua localização no edifício e da sua constituição. A Figura 4.7 identifica os casos genéricos de elementos construtivos a avaliar na determinação da massa térmica de uma fração ou edifício, distinguindo-se os seguintes tipos:

- EL1 – elementos da envolvente exterior ou da envolvente interior em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente;
- EL2 – elementos em contacto com o solo;

- EL3 – elementos de compartimentação interior da fração autónoma em análise.

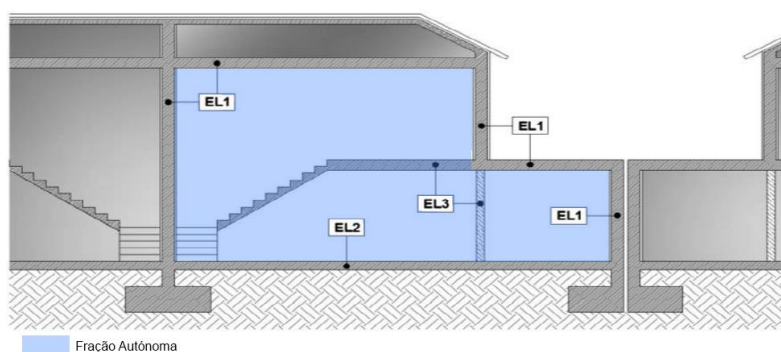


Figura 4.7 – Identificação dos elementos construtivos a considerar no cálculo da massa térmica de uma fração autónoma

(Adaptado de Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Como foi referido anteriormente, o fluxo de calor apenas penetra uma determinada espessura dos elementos sujeitos à ação do mesmo e existem certas circunstâncias, como é o de elementos construtivos com isolamento térmico ou caixa-de-ar, que restringem a passagem do fluxo de calor. Desta forma, o Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro (2013) estabelece as condições resumidas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Regras a aplicar no cálculo dos valores da massa superficial útil dos elementos construtivos

(Adaptado de Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

$M_{s,i}$ (kg/m ²)	$M_{s,i,máx}$ (kg/m ²)	Condição		
		Sem isolamento térmico		Com isolamento térmico
Elemento construtivo		Sem caixa-de-ar	Com caixa-de-ar	
EL1	150	$\frac{m_t}{2}$	m_{pi}	m_i
EL2	150	150 kg/m ²		m_i
EL3	300	m_t		$m_i^{(1)}$

⁽¹⁾ o valor de $M_{s,i}$ tem de ser avaliado, de forma isolada, em cada um dos lados da camada de isolamento térmico. As $M_{s,i}$ calculadas para cada lado não podem ser superiores a 150 kg/m².

em que:

$M_{s,i}$ – massa superficial útil do elemento i (kg/m²);

m_t – massa total do elemento (kg/m²);

m_{pi} – massa do elemento desde a caixa-de-ar até à face interior (kg/m²);

m_i – massa do elemento desde o isolamento térmico até à face interior (kg/m²).

A determinação dos valores de massa superficial útil, nesta etapa do modelo de projeto bioclimático, tem como finalidade a análise das soluções construtivas selecionadas na fase anterior. No caso de os valores de massa superficial útil dos elementos construtivos de uma fração autónoma serem reduzidos, devem alterar-se as soluções construtivas anteriores, recorrendo a materiais com maior massa.

Para se obterem os valores da massa superficial das várias camadas constituintes de um elemento contruído devem consultar-se os ITE12 (LNEC, 2009a) e ITE11 (LNEC, 2009b), para o caso de camadas heterogéneas. No caso de a camada ser constituída por apenas um material, ou seja, ser homogénea, basta efetuar o produto entre a massa volúmica do material e a espessura da camada. Para se obter a massa superficial total de um elemento devem somar-se as massas superficiais das várias camadas constituintes, de acordo com as regras referidas na Tabela 4.6.

A avaliação da massa térmica dos elementos construtivos do edifício a projetar deve ser feita para cada fração em separado.

- **Etapa 2 – Determinação da Inércia Térmica**

A inércia térmica está diretamente relacionada com a massa térmica dos elementos, uma vez que a inércia térmica (I_t) se trata da massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, calculando-se através da expressão apresentada no Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro (2013):

$$I_t = \frac{\sum_i M_{s,i} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad (\text{kg/m}^2) \quad (23)$$

em que:

r – fator de redução da massa superficial;

S_i – área da superfície interior do elemento i (m^2);

A_p – área interior útil de pavimento (m^2).

O fator de redução da massa superficial (r) está relacionado com o efeito convectivo que se gera junto da superfície dos elementos construtivos, reduzindo o fluxo de calor que poderá ser transmitido por condução no interior do elemento. Dependendo da resistência térmica do revestimento superficial interior e da resistência térmica de uma eventual caixa-de-ar associada (R), o fator de redução é determinado de acordo com a Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Fatores de redução da massa superficial para elementos do tipo EL1, EL2 e EL3 sem isolamento térmico

(Adaptado de Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

r			
EL1 e EL2			
$R > 0,30$ ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)	$0,14 \leq R \leq 0,30$ ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)	$R < 0,14$ ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)	
0,00	0,50	1,00	
EL3 sem isolamento térmico			
face a \ face b	$R > 0,30$ ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)	$0,14 \leq R \leq 0,30$ ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)	$R < 0,14$ ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)
$R > 0,30$ ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)	0,00	0,25	0,50
$0,14 \leq R \leq 0,30$ ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)	0,25	0,50	0,75
$R < 0,14$ ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)	0,50	0,75	1,00

No caso de elementos do tipo EL3 com isolamento térmico, o fator de redução (r) deve ser avaliado em cada uma das faces de forma independente e de acordo com as regras aplicados aos elementos EL1 e EL2.

Após o cálculo do valor de I_t é possível classificar a fração autónoma ou o edifício de acordo com os limites apresentados na Tabela 4.8. O objetivo a nível bioclimático é obter uma classe de inércia térmica forte.

Tabela 4.8 – Classes de inércia térmica interior

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Classe de inércia térmica	I_t (kg/m²)
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

vii) Fase 7 – Ventilação Natural

Como foi referido anteriormente, a ventilação das habitações deve ser geral e permanente, mesmo durante o regime de inverno, quando as temperaturas exteriores obrigam a manter os vãos envidraçados fechados. No entanto, o estudo de um esquema de ventilação é um processo demasiado complexo e que não se pretende detalhar e aplicar exaustivamente neste modelo de projeto bioclimático. O objetivo definido por este modelo é a compreensão do funcionamento do processo de ventilação natural, o dimensionamento dos volumes de ar necessários ou do número de renovações horárias e, posteriormente, o cálculo das perdas de calor por ventilação.

Os locais que contribuem para o escoamento do ar entre o exterior e o interior de um edifício são, de uma forma geral, as janelas, as caixas de estore, as grelhas de ventilação e/ou as condutas de ventilação.

De acordo com a NP 1037-1 (2002) existem dois esquemas distintos de ventilação, considerando-se a ventilação conjunta e a ventilação separada de compartimentos (Figura 4.8). No primeiro caso, a estratégia de ventilação consiste no englobamento de todos os compartimentos da fração, sendo que a admissão de ar é realizada pelos compartimentos principais e a evacuação pelos compartimentos de serviço. No caso da ventilação separada, a estratégia passa pela divisão da fração em zonas ventiladas independentes (setores), sendo recomendável para compartimentos onde estejam instaladas lareiras, aparelhos a gás ou outros combustíveis.



Figura 4.8 – Esquemas de ventilação – conjunta (esquerda) e separada (direita)

(Fonte: NP 1037-1, 2002)

Para a implementação da ventilação separada de compartimentos é necessária a existência de entradas de ar novo, saídas de ar poluído, passagens de ar interiores (apenas no caso em que a ventilação separada abrange vários compartimentos) e comunicações de reduzida permeabilidade ao ar com outros setores de ventilação.

- **Etapa 1 – Caudal-tipo**

Na primeira etapa desta fase do modelo pretende-se determinar os caudais de ar a admitir e a extrair dos vários compartimentos constituintes da fração ou edifício em projeto (caudais-tipo). Estes caudais dependem do uso do compartimento e do volume do mesmo e calculam-se de acordo com as condições de conforto descritas anteriormente (Tabela 3.1 e Tabela 3.2). O caudal-tipo de ventilação corresponde ao maior valor que se obtém pela aplicação das regras descritas no capítulo referido aos compartimentos principais e aos compartimentos de serviço que coexistam num mesmo setor de ventilação.

Nesta etapa do modelo deve ainda optar-se pelo esquema de ventilação mais adequado, sendo necessário definir se se recorrerá à ventilação conjunta ou separada e, no caso de ser separada, definir os setores necessários.

- **Etapa 2 – Caudal de Ar de Ventilação e Aberturas**

De acordo com a NP 1037-1 (2002), o caudal de ar de ventilação dever ser determinado tendo em conta o ponto mais gravoso:

- O caudal de ar de ventilação deve ser igual ou superior à soma dos caudais de ventilação parciais dos compartimentos de serviço calculados na etapa anterior e que pertençam ao mesmo setor de ventilação;
- O caudal de ar de ventilação deve ser igual ou superior à soma dos caudais de ventilação parciais dos compartimentos principais calculados na etapa anterior e que pertençam ao mesmo setor de ventilação.

Tendo o caudal de ar de ventilação determinado, é necessário prever as aberturas de admissão de ar, as passagens de ar interiores e as aberturas de evacuação de ar.

A admissão de ar no interior do edifício ou fração pode ser realizada através de aberturas diretas para o exterior, sendo executadas nas paredes de fachada, ou através de aberturas servidas por condutas de comunicação com o exterior. A passagem de ar interior pode ser promovida através de folga nas portas interiores, através de grelhas colocadas nas portas ou ainda, através de grelhas aplicadas nas paredes divisórias. Por fim, em relação às aberturas de evacuação de ar, sabe-se que podem ser servidas com condutas individuais ou por condutas coletivas.

Para melhor compreender o processo de dimensionamento das aberturas, deve consultar-se a NP 1037-1 (2002). Tendo em conta o detalhe que se pretende incluir neste modelo, apenas é necessário calcular a área útil de aberturas e passagens de ar interiores (A_u) de acordo com a equação (24).

$$A_u = \frac{Q_{tipo}}{0,60 \cdot 3600 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho_{ar}}}} \cdot 1000 \quad (\text{cm}^2) \quad (24)$$

em que:

Q_{tipo} – caudal-tipo de admissão ou evacuação (m^3/h);

ΔP – diferença de pressão (Pa);

ρ_{ar} – massa volúmica do ar, tida como $1,25 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Os valores de ΔP a considerar no dimensionamento das áreas úteis das aberturas encontram-se listados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Perdas de carga das aberturas
(Adaptado de NP 1037-1, 2002)

Sentido	Tipo	ΔP (Pa)
Admissão	Abertura em parede de fachada	10
	Servida por conduta	3
Passagem interior	$Q_{tipo} \leq 60 \text{ m}^3/\text{h}$	1
	$Q_{tipo} > 60 \text{ m}^3/\text{h}$	3
Evacuação	Servida por conduta individual	3
	Servida por conduta coletiva	10

- **Etapa 3 – Taxa de Renovação do Ar**

De acordo com o Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro (2013), a taxa de renovação de ar (R_{ph}) corresponde à soma dos caudais de ar admitidos no edifício, ou fração autónoma, a dividir pelo volume interior útil. No entanto, como já foi referido, o ar é admitido no interior do edifício pelos vãos envidraçados, pelas caixas de estore e pelas aberturas de ventilação determinadas na etapa anterior, transformando-se a determinação do caudal de ar admitido num processo moroso e complexo. Desta forma, recomenda-se a utilização da ferramenta de cálculo do tipo folha de cálculo, disponibilizada pelo LNEC (Pinto, 2014), para utilização como referência para

a determinação das taxas de renovação de ar da estação de aquecimento ($R_{ph,i}$) e da estação de arrefecimento ($R_{ph,v}$), assim como da taxa de renovação de ar de referência ($R_{ph,iref}$).

- **Etapa 4 – Transferência de Calor por Ventilação**

Para se compreender o efeito que a ventilação natural projetada terá sobre as perdas de calor na estação de aquecimento deve recorrer-se à equação definida pelo Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013 de 3 de Dezembro (2013), através da qual se determina a transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento ($Q_{ve,i}$):

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{ve,i} \quad (\text{kWh}) \quad (25)$$

onde

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d \quad (\text{W/}^\circ\text{C}) \quad (26)$$

em que:

$H_{ve,i}$ – coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento (W/°C);

$R_{ph,i}$ – taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento (h⁻¹);

A_p – área interior útil de pavimento, medida pelo interior (m²);

P_d – pé direito médio da fração (m).

Para se compreender se o valor de $Q_{ve,i}$ não cumpre os requisitos bioclimáticos, ou seja, não contribui excessivamente para as perdas térmicas, deve comparar-se o valor calculado com o valor da transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento:

$$Q_{ve,i\,ref} = 0,024 \cdot GD \cdot 0,34 \cdot R_{ph,ref} \cdot A_p \cdot P_d \quad (\text{kWh}) \quad (27)$$

A taxa de renovação de ar de referência ($R_{ph,ref}$) considera-se igual à taxa de renovação para a fração ou edifício, até um máximo de 0,6 renovações por hora.

Na situação da estação de arrefecimento, a transferência de calor devido à renovação do ar é determinada de acordo com a equação:

$$Q_{ve,v} = \frac{H_{ve,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \cdot L_v}{1000} \quad (\text{kWh}) \quad (28)$$

onde o valor de $H_{ve,v}$ se determina de acordo com a equação (26), mas neste caso, com a taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento ($R_{ph,v}$). Na estação de arrefecimento o efeito da ventilação é favorável, como já foi referido, sendo benéfico obter um valor de $Q_{ve,v}$ elevado.

Tanto para a situação da estação de aquecimento como para a de arrefecimento, o valor da taxa de renovação de ar deve ser igual ou superior a 0,4 renovações por hora.

viii) Fase 8 – Câmaras-de-ar

Em algumas situações pode ser vantajoso projetar compartimentos que funcionem como espaços “tampão” às condições climáticas do exterior. Estes espaços podem ser marquises, estufas, átrios ou equivalentes, sendo considerados espaços não úteis.

Em termos energéticos, a existência destes espaços altera a área efetiva coletora do vão envidraçado existente na parede de separação do espaço não útil do espaço interior.

Assim, de acordo com o Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013 de 3 de Dezembro (2013), a área efetiva coletora na estação de aquecimento ($A_{s,i}$) deve ser determinada segundo a seguinte expressão:

$$A_{s,i} = (A_w)_{int} \cdot (F_g)_{int} \cdot (F_g)_{enu} \cdot (g_i)_{int} \cdot (g_i)_{enu} \quad (\text{m}^2) \quad (29)$$

em que:

- $(A_w)_{int}$ – área total do vão envidraçado interior, incluindo o vidro e caixilho (m^2);
- $(F_g)_{int}$ – fração envidraçado do vão envidraçado interior;
- $(F_g)_{enu}$ – fração envidraçada do vão envidraçado do espaço não útil;
- $(g_i)_{int}$ – fator solar na estação de aquecimento, do vão envidraçado interior;
- $(g_i)_{enu}$ – fator solar na estação de aquecimento, do vão envidraçado do espaço não útil.

No fator solar de ambos os vãos envidraçados (interior e do espaço não útil) não deverão ser considerados os dispositivos de proteção solar móveis, devendo por isso considerar-se apenas os dispositivos de proteção solar permanentes.

Para se compreender o contributo que estas soluções trazem para os ganhos solares de inverno, deve-se utilizar a equação 1, devendo considerar-se que os elementos opacos do espaço não útil causam sombreamento no vão envidraçado interior aquando do cálculo do fator de obstrução da superfície ($F_{s,i}$).

No caso da estação de arrefecimento, de acordo com o Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013 de 3 de Dezembro (2013), a área efetiva coletora ($A_{s,v}$) deve ser determinada de acordo com a expressão:

$$A_{s,v} = (A_w)_{int} \cdot (F_g)_{int} \cdot (g_v)_{int} \cdot (g_v)_{enu} \quad (\text{m}^2) \quad (30)$$

em que:

- $(g_v)_{int}$ – fator solar na estação de arrefecimento, do vão envidraçado interior;
- $(g_v)_{enu}$ – fator solar na estação de arrefecimento, do vão envidraçado do espaço não útil.

Neste caso, o cálculo dos ganhos solares deve seguir a equação (7). No entanto, na estação de arrefecimento admite-se que os elementos opacos do espaço não útil não causam sombreamento no vão envidraçado interior, pelo que, na ausência de outros sombreamentos, o fator de obstrução da superfície ($F_{s,v}$) se considera igual a 1.

No caso de o vão envidraçado do espaço não útil dispor de dispositivos de proteção solar permanentes, o fator $(g_v)_{enu}$ toma o valor de g_{Tp} e deve ser calculado de acordo com o referido na fase 4. Nos restantes casos, este fator toma o valor de 1.

É fundamental avaliar se a inclusão deste tipo de solução no edifício em projeto é benéfica, uma vez que a criação de um espaço deste tipo altera um número significativo de parâmetros anteriormente referidos neste modelo. Será necessário determinar o coeficiente de redução de perdas do espaço não útil (b_{tr}) de acordo com a etapa 1 da fase 5, assim como proceder às alterações necessárias nas fases 4, 5 e 6.

ix) Fase 9 – Cor dos Revestimentos Exteriores

O Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro (2013) apresenta valores de coeficientes de absorção da radiação solar (α), de acordo com a influência que as cores dos revestimentos exteriores representam para os ganhos solares na estação de aquecimento. Desta forma são definidos três níveis de cor, tal como apresentado na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Coeficiente de absorção da radiação solar

Cor	α
Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro)	0,4
Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro)	0,5
Escura (castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro)	0,8

Para se compreender o efeito que a cor selecionada em projeto representa para os ganhos solares da estação de arrefecimento, é necessário calcular a área efetiva coletora, recorrendo-se à equação:

$$A_{s,v,nj} = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se} \quad (\text{m}^2) \quad (31)$$

Posteriormente, os valores de $A_{s,v,nj}$ determinados para os vários elementos opacos exteriores (n) e para as diferentes orientações j , devem ser contemplados na equação (7) para assim determinar os ganhos solares na estação de arrefecimento resultantes da radiação solar incidente.

Capítulo 5

Aplicação do Modelo a Caso de Estudo

Após a conclusão da proposta do modelo de projeto bioclimático, interessa perceber se a sua aplicação conduz efetivamente ao alcance do objetivo a que se propõe, ou seja, um edifício de habitação energeticamente mais sustentável através da aplicação de estratégias bioclimáticas.

O presente capítulo tem por objetivo avaliar o desempenho do modelo proposto, tendo-se aplicado o mesmo a um caso de estudo.

O caso de estudo trata-se de um edifício de habitação multifamiliar projetado, com base em medidas passivas, apresentando assim atualmente um bom desempenho energético. Este facto acaba por ser mais um desafio à aplicação do modelo proposto, uma vez que se pretende perceber se a adoção do mesmo consegue efetivamente garantir que se atinja uma otimização da eficiência energética de um edifício.

Assim, a avaliação do desempenho do modelo de projeto bioclimático passa pelos seguintes pontos:

- Aplicar o modelo de projeto bioclimático;
- Avaliar o aumento da eficiência energética;
- Validar em termos económicos.

Com o objetivo de manter as características estéticas do edifício, apenas se procederá à alteração das questões realmente essenciais à obtenção de um edifício sustentável devido às medidas bioclimáticas.

1. Aplicação do Modelo de Projeto Bioclimático

1.1. Descrição do Caso de Estudo

O edifício em estudo pertence à Urbanização das Casas de Santo António, na freguesia de Santo António da Charneca, concelho do Barreiro (Figura 5.1). Esta urbanização foi promovida pela empresa GOGUI – Construções, Unipessoal, Lda., e projetada e desenvolvida pela empresa PROGESTO – Gabinete Técnico de Gestão, Arquitetura e Planeamento Lda.. Esta urbanização inclui edifícios de diferentes tipologias de habitação, comércio e serviços e espaços públicos exteriores, garantindo condições de conforto através de um ambiente natural inserido numa cidade (Alcafache, Neves, Pereira, & Martins, 2015).



Figura 5.1 – Localização da urbanização Casas de Santo António, em Santo António da Charneca, Barreiro

O projeto da urbanização inclui 32 edifícios de habitação unifamiliar, 26 edifícios de habitação plurifamiliar que se traduzem em 221 fogos de habitação, sendo que 3 destes edifícios destinam o piso 0 (rés-do-chão) para comércio e um edifício de equipamento, localizados como representado na Figura 5.2.



Figura 5.2 – Planta de enquadramento da Urbanização das Casas de Santo António

(Fonte: GOGUI - Construções, Unipessoal, Lda., 2013)

O projeto do edifício foi elaborado tendo por base um desenho passivo, com estratégias bioclimáticas aplicadas para as condições de regime de inverno e de verão. Teve em consideração a orientação do edifício, dimensão e materiais dos vãos, dimensão dos espaços interiores e função. Assim, no projeto existente foram consideradas as seguintes estratégias bioclimáticas (Alcafache et al., 2015):

- Fachadas com as maiores áreas envidraçadas localizadas e expostas à orientação sul;
- Dimensionamento, posicionamento e orientação dos vãos envidraçados em função dos ganhos solares;
- Instalação de sistemas de sombreamento nos vãos envidraçados, fixos ou móveis, consoante a orientação dos mesmos;
- Aplicação de sistema de fachadas ventiladas;
- Colocação de isolamento térmico pelo exterior, minimizando-se as perdas de calor e evitando a existência de pontes térmicas;
- Instalação de vãos envidraçados com caixilharia com corte térmico, vidro duplo incolor de baixa emissão térmica e caixa-de-ar desumidificada;
- Implementação de sistemas de ventilação natural para contribuir para o controlo da temperatura e qualidade do ar interior.

O edifício a ser analisado, apresentado no Anexo C, encontra-se implantado na parcela de terreno designada como Lote 7 e possui as características apresentadas na Tabela 5.1. No Anexo C é possível analisar as plantas, cortes e alçados do lote em estudo.

Tabela 5.1 – Caracterização do edifício em estudo
(Adaptado de Ribeiro, 2007)

Área total do terreno	381,65 m ²
Área de implantação	243,18 m ²
Volume de construção	3.138,17 m ³
Cércea	12,48 m
Cota de soleira	54,62 m
Cota do último piso	63,70 m
Área de construção	1.463,78 m ²
...habitação	1.082,13 m ²
...estacionamento	381,65 m ²
Nº de pisos	5
...acima da cota de soleira	4
...abaixo da cota de soleira	1
Nº unidades de ocupação de habitação	8
...T2	5
...T4	3

O edifício, nas suas vertentes norte e oeste, confronta com arruamentos, na vertente sul, com o domínio público e, na vertente este com o edifício do Lote 8.

Sempre que a fase do modelo for aplicável para cada fração autónoma em separado, será analisada a fração 2.E.. Trata-se de um fogo de tipologia T2, limitado superiormente e inferiormente por outras frações, assim como lateralmente.

Ao longo do desenvolvimento deste capítulo serão referidas outras características da fração e do edifício que contribuam para a compreensão do processo de conceção.

1.2. Aplicação do Modelo

A descrição da aplicação do modelo aqui apresentada passa por uma breve descrição e justificação das soluções adotadas ao longo do processo de projeto, sendo acompanhada pelo preenchimento da ficha modelo (Anexo E) e de figuras descritivas (Anexo D), sempre que se justifique.

i) Fase 1 – Localização e Clima

Uma vez que a aplicação do modelo a um caso de estudo tem por objetivo a análise do efeito da aplicação, a nível do projeto, das medidas bioclimáticas corretas, deve realizar-se a avaliação tendo por base as mesmas condicionantes. Desta forma, considera-se que a localização deve permanecer inalterada (Anexo D.1).

Passando-se para a caracterização do clima da região, apenas é necessário dar especial atenção ao facto de a região ser caracterizada por uma estação de arrefecimento com características exigentes (zona climática V3).

Por fim, ao analisar o meio ambiente que irá envolver o edifício a projetar, regista-se a existência de edifícios com 15 metros na vertente norte da área de implantação e edifícios com 12 metros na vertente sul. Sabe-se também que, na vertente este, o edifício fará fronteira com um edifício com 12 metros pré-existente. Em relação à vertente oeste não existe nenhuma barreira construída que possa representar influência sobre o edifício a projetar. Em relação às barreiras vegetais, regista-se a existência de algumas árvores que poderão vir a representar especial interesse no controlo da influência dos ventos predominantes e intensos de noroeste.

ii) Fase 2 – Forma e Orientação

A profundidade do edifício foi determinada de acordo com a profundidade do edifício adjacente, tendo sido o mesmo fator que determinou a orientação do edifício (Anexo D.2). Para garantir a uniformidade do aspeto exterior da via, optou-se por projetar o edifício com a mesma largura da do edifício adjacente, garantindo a possibilidade de incluir dois fogos por piso. A verificação de que a forma definida pode contribuir para o alcance de um edifício sustentável foi feita através do cálculo do valor do fator de forma, que resultou inferior a 0,5.

O edifício terá quatro pisos acima do solo, perfazendo um total de oito fogos.

iii) Fase 3 – Espaços Interiores

Uma vez que a via de acesso pedonal ao edifício se encontra na vertente norte do edifício, o acesso ao interior do edifício foi projetado na zona do edifício com orientação a nordeste. Desta forma, a caixa de escadas terá de se localizar na zona oposta do edifício e com orientação a sudoeste. Este facto foi determinante na localização dos vários compartimentos da fração autónoma projetada (2.E.). Optou-se por localizar a sala de estar na zona exposta a SW-NW. Não sobrando mais espaço na zona da fração com exposição a sudoeste, optou-se por localizar os dois quartos numa zona que garantisse pelo menos uma fachada exterior exposta a nordeste. Por fim, localizou-se a cozinha com uma fachada a nordeste e a contactar com a cozinha da fração adjacente (Anexo D.3).

iv) Fase 4 – Vãos Envidraçados e Dispositivos de Proteção Solar

• Etapa 1 – Localização e Dimensão dos Vãos Envidraçados

A localização e dimensionamento dos vãos envidraçados (Anexo D.4) tiveram por base os seguintes pontos:

- Vão envidraçado com grande dimensão na fachada exterior com orientação sudoeste, pertencendo à sala de estar (2.E.2);
- Na fachada exposta à orientação nordeste foram projetados vãos envidraçados com dimensão suficiente para a entrada de iluminação natural, tendo apenas dimensões médias;
- Na fachada exposta à orientação noroeste foi projetado um único vão envidraçado com reduzida dimensão, garantindo apenas a iluminação natural do compartimento no qual se insere.

Em relação às características dos vãos envidraçados, optou-se por uma solução de vidros duplos, incolores (8+16+5 mm) de baixa emissividade, com caixilharia em alumínio, sem quadrícula e com corte térmico.

• Etapa 2 – Localização e Dimensão de Dispositivos de Proteção Solar

Optou-se por colocar dispositivos de proteção solar móveis em todos os vãos envidraçados da fração em estudo, tendo-se escolhido proteções exteriores do tipo persiana de réguas metálicas de cor clara.

No caso do vão envidraçado com exposição à orientação sudoeste, a proteção solar será complementada com uma pala vertical à direita para limitar a entrada de radiação solar direta de oeste durante a estação de arrefecimento. Para além da pala vertical, também se projetou uma pala horizontal que terá função de varanda.

v) Fase 5 – Isolamento Térmico

• Etapa 1 – Caracterização dos Ambientes de Fronteira

Das fases anteriormente desenvolvidas sabe-se que a fração 2.E. do edifício em estudo terá 3 fachada em contacto com o exterior, com exposição às orientações sudoeste, noroeste e nordeste. Para além das fachadas em contacto com o exterior, uma parte do pavimento também ficará em contacto com o ambiente exterior.

Passando para a análise dos espaços não úteis, contabilizam-se o espaço de acesso pedonal ao edifício, designado por átrio, a caixa de escadas, a caixa do elevador e a garagem. Dos quatro espaços não úteis identificados, a fração autónoma em análise fará fronteira com o átrio, a caixa de escadas e a caixa do elevador (Anexo D.5).

A fração autónoma em causa não faz fronteira com o edifício adjacente. Os restantes elementos da envolvente da fração farão fronteira com outras frações.

• Etapa 2 – Soluções de Isolamento Térmico

A escolha das soluções construtivas a aplicar nos diferentes elementos com exigências térmicas foi baseada nos valores dos coeficientes de transmissão térmica máximos e nos coeficientes de transmissão térmica de referência, tendo-se procurado garantir soluções construtivas com coeficientes de transmissão térmica o mais perto possível dos valores de referência e, sempre que possível, garantir valores ainda melhores.

As soluções construtivas adotadas encontram-se detalhadas na Tabela D.1 do Anexo D.5. Os valores das condutibilidades térmicas ou resistências térmicas dos materiais foram consultadas no ITE 50 (LNEC, 2006) e através de dados fornecidos pelos fabricantes (DH 917, 2012).

vi) Fase 6 – Massa Térmica e Inércia Térmica

Para proceder à determinação da massa térmica que caracteriza a fração em estudo, foi necessário escolher as soluções construtivas dos elementos do interior da mesma, sendo apresentadas na Tabela D.2 do Anexo D.6.

Através do cálculo do valor da inércia térmica, compreende-se que as soluções construtivas adotadas cumprem o requisito de uma inércia térmica forte, não sendo necessário proceder a qualquer alteração das soluções construtivas anteriormente selecionadas.

vii) Fase 7 – Ventilação Natural

No processo de definição do sistema de ventilação natural da fração autónoma 2.E. optou-se pela adoção do sistema de ventilação separada, com dois setores distintos. Um dos setores inclui apenas

a cozinha e os restantes compartimentos, pertencem a um segundo setor (Anexo D.7). A opção de separar o sistema de ventilação natural da cozinha do da restante fração deveu-se ao facto de a fachada da cozinha em contacto com o exterior estar exposta à orientação nordeste, a qual está bastante sujeita aos ventos mais intensos. Assim, seria complicado garantir um fluxo de ar natural, podendo correr-se o risco de ocorrer inversão de fluxo no caso de a cozinha não constituir um setor autónomo.

Desta forma, todo o ar admitido pelos compartimentos principais terá de ser evacuado pela instalação sanitária, convertendo-se assim num elevado caudal de evacuação.

viii) Fase 8 – Câmaras-de-ar

No projeto do edifício ou fração em causa não se considerou necessário ou conveniente o recurso a este tipo de elemento. Desta forma, esta fase será descartada.

ix) Fase 9 – Cor dos Revestimentos Exteriores

Optou-se por utilizar cores claras em todos os revestimentos exteriores.

1.3. Resultados Obtidos

Após a conclusão da conceção do projeto da fração autónoma em estudo, é necessário compreender se a forma como foi executado, ou seja, com base no modelo de projeto bioclimático apresentado nesta dissertação, contribui positivamente para a eficiência energética do edifício.

Para a realização desta avaliação, optou-se por sujeitar o projeto pré-existente e o novo projeto ao cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios, de acordo com o REH.

Apesar de o projeto pré-existente já incluir um elevado número de soluções passivas, o novo projeto aqui proposto é ainda mais aprofundado no que diz respeito às medidas bioclimáticas, tendo sido criado com base no modelo de projeto bioclimático proposto.

Dos vários parâmetros que são considerados no cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético dos edifícios, um elevado número destes são iguais em ambos os projetos. Desta forma, apresentam-se na Tabela 5.2 os parâmetros distintos entre os projetos existente e proposto.

Apesar de parte das soluções apresentadas em ambos os projetos serem semelhantes, as soluções distintas conduzem à alteração de outros fatores como são o caso de medidas de áreas e comprimentos, tal como é possível comprovar nas folhas de cálculo apresentadas no Anexo F.

Tabela 5.2 – Descrição das soluções diferentes entre o projeto existente e o projeto proposto

	Projeto Proposto	Projeto Existente
A_{pav} Cozinha 2.E.3 (m ²)	13,97	12,49
A_{pav} Total 2.E. (m ²)	92,26	90,67
A_w NE Cozinha 2.E.3 (m ²)	2,00	3,60
Dispositivos de Proteção Solar		
Vão envidraçado cozinha 2.E.4	Com proteção móvel	Sem proteção móvel
Vão envidraçado cozinha 2.E.4	Sem proteção permanente	Com proteção permanente
Vão envidraçado I.S. 2.E.3	Com proteção móvel	Sem proteção móvel
Proteções solares móveis	Persianas de réguas metálicas de cor clara ($g_{Tvc} = 0,04$)	Estore veneziano de lâminas metálicas de cor média ($g_{Tvc} = 0,09$)
Proteções Solares do Corpo do Edifício (ângulo)		
Pala horizontal sala de estar 2.E.2	45,00°	41,06°
Pala horizontal cozinha 2.E.4	0,00°	42,04°
Pala vertical à esquerda cozinha 2.E.4	0,00°	27,90°
Pala vertical à direita cozinha 2.E.4	0,00°	33,57°
Coefficientes de Transmissão Térmica U (W/(m².°C))		
Opaco horizontal corrente em contacto com o exterior (descendente)	0,43/0,47	0,54
Opaco vertical corrente em contacto com espaço não útil – caixa de escadas	0,56	1,22
Opaco vertical PTP em contacto com espaço não útil – caixa de escadas	0,67	2,50
Opaco vertical corrente em contacto com espaço não útil – caixa de elevador	1,75	2,60
Opaco horizontal corrente em contacto com espaço não útil – átrio	0,51/0,60	1,15/1,72
Vão envidraçado sala de estar 2.E.2	2,30	2,50
Vão envidraçado quarto 2.E.5	2,30	2,50
Vão envidraçado quarto 2.E.6	2,30	2,50
Vão envidraçado cozinha 2.E.4	2,30	3,30
Vão envidraçado I.S. 2.E.3	2,30	3,30
Cor dos Revestimentos Exteriores		
Fachada exposta à orientação NE	Clara	Escura

Através na análise dos resultados do cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios, de acordo com o REH e apresentados no Anexo F, conclui-se que a classe energética da fração 2.E. é a B, para ambos os projetos. No entanto, em termos numéricos assiste-se a uma melhoria nos resultados entre o projeto existente e o projeto proposto, ou seja, o rácio de classe energética no caso do projeto existente é de 0,71 e no caso do projeto proposto é de 0,60. Os valores obtidos podem ser vistos com mais detalhe na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Balanço energético

	Projeto Existente		Projeto Proposto	
	Valor	Ref.	Valor	Ref.
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	19,52	35,67	13,17	34,97
Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	14,63	16,70	13,85	16,70

Como é possível aferir através da análise dos valores apresentados na Tabela 5.3, através da aplicação do modelo de projeto bioclimático proposto nesta dissertação conseguiu-se reduzir as necessidades nominais anuais de energia útil, tanto para aquecimento como para arrefecimento. O objetivo a que o modelo se propõe passa sempre por otimizar o comportamento térmico do edifício, ou neste caso de uma fração, durante um ano inteiro, tendo sido atingido esse objetivo com a aplicação do mesmo.

No entanto, verifica-se que os valores do rácio de classe energética obtidos para os dois projetos não são efetivamente muito díspares. Esta constatação justifica-se com o facto de o projeto existente já ter em consideração a implementação de medidas passivas, sendo que o modelo proposto apenas melhorou alguns pontos essenciais.

Após a averiguação de que energeticamente a aplicação do modelo é uma mais-valia, falta compreender se em termos económicos as soluções implementadas são efetivamente sinonimo de poupança.

1.4. Análise Económica

Interessa compreender se as estratégias bioclimáticas, aplicadas ao projeto de construção de um edifício de habitação com base no modelo apresentado, acarretam uma sobrecarga económica nos gastos na fase de construção e, no caso de aumentarem o custo de construção, se a médio-longo prazo esse valor é amortizado através da poupança nos gastos energéticos de utilização.

Neste sentido, foi desenvolvida uma análise custo-benefício da aplicação do modelo, com base na técnica simples, equacionando o investimento, que a aplicação do modelo envolve na fase de construção, e a poupança nos gastos energéticos para aquecimento e arrefecimento que promove durante a fase de utilização.

Determinou-se ainda, qual o período de retorno da implementação do modelo de projeto bioclimático, de modo a verificar se é ou não um investimento viável e em que prazo.

Como é visível pela análise da Tabela 5.3, após a aplicação do modelo de projeto bioclimático, ocorrerá uma redução anual dos consumos energéticos de cerca de 21%.

Com a análise de resultados das necessidades energéticas, antes e após a aplicação do modelo de projeto bioclimático, procurou-se identificar qual o custo associado à sua aplicação. Na Tabela 5.4 encontram-se os preços unitários (com IVA), as quantidades a aplicar de cada solução para cada

projeto e o custo total do investimento. Os custos unitários das várias soluções aplicadas foram obtidos através da ferramenta informática “Gerador de preços para a construção civil” da CYPE Ingenieros, S.A.

Tabela 5.4 – Orçamento dos elementos diferenciadores

Descrição	Unid.	Quant.	Pr. Unitário	Parciais
Projeto Proposto				
Isolamento térmico e = 0,06 m	m ²	50,47	58,52 €	2.953,50 €
Isolamento térmico e = 0,04 m	m ²	27,03	55,75 €	1.506,92 €
Vãos envidraçados	Un	1,00	4.221,10 €	4.221,10 €
Proteção solar – persiana	m ²	20,76	121,89 €	2.530,44 €
			Total	11.211,96 €
Projeto Existente				
Isolamento térmico e = 0,06 m	m ²	47,12	57,36 €	2.702,80 €
Vãos envidraçados	Un	1,00	3.685,55 €	3.685,55 €
Proteção solar – estore veneziano	Un	1,00	2.715,22 €	2.715,22 €
<i>Brise Soleil</i>	m ²	7,55	117,44 €	886,08 €
			Total	9.989,66 €

Obeve-se assim que o encargo financeiro se traduz num acréscimo de 1.222,30€ na fase de construção.

O custo da energia para utilizadores domésticos em Portugal foi obtido a partir dos dados mais recentes apresentados pela Eurostat (2015), sendo de 0,223 €/kWh (dados do 2º semestre de 2014). A Tabela 5.5 apresenta o custo anual associado aos gastos energéticos para aquecimento e arrefecimento. Verifica-se que um gasto energético total anual de 34,15 kWh/m² se traduz num custo de 690,49€ por ano no caso do projeto existente. Para a solução do projeto proposto, os gastos energéticos anuais são de 27,02 kWh/m², traduzindo-se em 555,91€ por ano. Assim, compreende-se que com a aplicação do modelo de projeto bioclimático se consegue atingir uma redução de 134,58€ nos gastos associados à energia necessária para garantir o conforto térmico da fração autónoma.

Tabela 5.5 – Custos associados à energia necessária anualmente para garantir o conforto térmico da fração autónoma

Projeto Proposto			Projeto Existente		
Aquecimento (€/ano)	Arrefecimento (€/ano)	Custo Total (€/ano)	Aquecimento (€/ano)	Arrefecimento (€/ano)	Custo Total (€/ano)
270,96	284,95	555,91	394,68	295,81	690,49

De modo a obter o período de retorno das estratégias e medidas aplicadas, é necessário ter em conta os custos energéticos antes e após a aplicação do modelo e o custo total do investimento na fase de construção do edifício. Para o cálculo do período de retorno procedeu-se da seguinte forma:

- *Redução (€/ano)* = $690,49 - 555,91 = 134,58$
- *Investimento (€)* = 1.222,30
- *Retorno (anos)* = $\frac{1.222,30}{134,58} = 9,1$

Conclui-se que o investimento de aplicação do modelo de projeto bioclimático à conceção do projeto do edifício em estudo, para além de reduzir as necessidades nominais de energia, é viável pois o retorno do investimento é conseguido em pouco mais de 9 anos, o que considerando o período de vida útil de um edifício se afigura muito vantajoso.

Capítulo 6

Conclusões de Desenvolvimentos Futuros

1. Conclusão

O desenvolvimento sustentável é o caminho obrigatório a seguir no presente, para que a qualidade de vida das gerações futuras não seja comprometida. O setor da construção, por ser um dos principais responsáveis pela degradação ambiental registada nas últimas décadas, é em simultâneo o primeiro setor a intervir para garantir o rumo a um processo de desenvolvimento sustentável.

Tendo em conta a crescente preocupação dada ao meio ambiente e às possíveis repercussões na economia e sociedade, tem-se assistido a uma alteração no modo de pensar, construir, utilizar, reabilitar e desconstruir um edifício.

Constata-se através do desenvolvimento desta dissertação, que existem inúmeros instrumentos e metodologias que procuram já implementar e incentivar à construção sustentável. No entanto, a sustentabilidade, no domínio do setor da construção, é ainda hoje uma temática bastante recente, tendo sido ainda pouco desenvolvida e aceite pela poluição em geral no caso de Portugal.

Esta realidade é principalmente visível no parque habitacional construído nas últimas décadas, onde a falta de qualidade é frequente. O resultado deste tipo de construção traduz-se, por exemplo, na necessidade de recorrer à iluminação artificial durante o dia e à ventilação artificial, com reflexo no consumo de energia elétrica e de recursos não renováveis em número superior ao previsto. Por outro lado, este contexto contribui para situações que geram consequências sobre a saúde dos utilizadores.

É portanto imprescindível intensificar a implementação da construção sustentável em Portugal. Através da consciencialização, para a população em geral, da importância que este conceito representa no seu dia-a-dia e adaptando as soluções já definidas por outros países à realidade do país, pode promover-se uma modificação no setor da construção e no nível de desempenho dos edifícios.

Através da elaboração da presente dissertação, foi possível concluir que a construção bioclimática pode ser uma das principais áreas-chave de ação para garantir maior sustentabilidade nos edifícios. A construção bioclimática contribui direta e indiretamente para a obtenção de edifícios mais eficiente, visto permitir obter níveis de conforto ambiental interior elevados e uma boa qualidade do ar, garantindo uma redução dos consumos de energia e a conseqüente diminuição emissão de GEE, reduzindo assim o impacte negativo dos edifícios sobre o meio ambiente.

Apesar da constatação desta realidade, muitas das vezes as questões bioclimáticas são descuradas durante o processo de concepção do projeto de um edifício, sendo dada importância a outras vertentes, como são o caso das energias renováveis, dos materiais de construção aplicados ou até mesmo os equipamentos instalados. No entanto, se o principal foco fosse direcionado às soluções bioclimáticas, todas as outras vertentes de intervenção não teriam tantas exigências e não teriam de responder a fatores tão restritivos.

Apesar dos benefícios que a construção com requisitos de bioclimática representa para a obtenção de edifícios eficientes, é necessário reconhecer e compreender que existem muitos entraves à sua aplicação. Tal como referido ao longo do desenvolvimento desta dissertação, existe um número bastante elevado de fatores condicionantes do clima face ao local de implantação de um edifício, sendo difícil, em alguns casos, definir com precisão o clima característico do local específico, para que se possam encontrar as soluções bioclimáticas mais adequadas a implementar. A identificação do clima como um parâmetro intensamente inconstante, variando anualmente, de estação para estação e até ao longo de um dia, torna difícil encontrar um equilíbrio entre todas as soluções bioclimáticas para que se obtenha o resultado o mais otimizado possível. Para além da questão temporal de variação do clima, que implica a procura de otimização tendo em conta todas as variações, também é necessário procurar um equilíbrio entre as soluções bioclimáticas que tentam responder às várias características dos elementos climáticos, como são exemplo o efeito do movimento do ar e a radiação, que para que se possa responder a um, muitas das vezes o outro acaba por ser mais negligenciado.

Para além das condicionantes que o clima impõe, existem outras que estão relacionadas com as decisões e imposições determinadas pelo Homem. Muitas das vezes, a concepção de um projeto de um edifício com base nas ideologias bioclimáticas é restringida devido a outros elementos naturais e construídos que não podem ser alterados, condicionando a aplicação do projeto bioclimático e da obtenção dos resultados que se poderiam alcançar. Também é necessário reconhecer que o projeto assente nas preocupações bioclimáticas é difícil de ser aplicado a projetos de reabilitação de edifícios, uma vez que é habitual terem demasiadas soluções pré-existentis inalteráveis que estão erradamente projetadas e que põe em causa os resultados que se obteriam com a aplicação de estratégias bioclimáticas.

As leis e regras criadas por certas entidades públicas podem também, por vezes, condicionar a aplicação do projeto bioclimático, como é o caso do RGEU e dos Regulamentos Municipais.

Por fim, é ainda necessário referir o papel que os utilizadores desempenham para a obtenção do desempenho do edifício em relação às soluções bioclimáticas aplicadas ao edifício ou fração autónoma que ocupam. Mesmo que um projeto seja concebido corretamente, sempre que o utilizador tem de intervir no funcionamento bioclimático do edifício a probabilidade de o fazer de forma errada é elevada, devido aos seus hábitos inadequados.

Compreende-se assim que a implementação da construção bioclimática é um desafio complexo que tem de ultrapassar algumas limitações. No entanto, os benefícios que podem ser obtidos com a sua implementação justificam o esforço de responder ao desafio.

O modelo proposto nesta dissertação pretende facilitar o processo de implementação das estratégias bioclimáticas ao processo de conceção de projetos de edifícios de habitação. Por se basear em estratégias e conhecimentos já testados e por não ser demasiado intensivo, é de fácil aplicação e sendo acompanhado por vários cálculos, é possível ir aferindo o contributo de cada solução implementada. O facto de ser dividido em várias fases independentes permite que se possa intervir em determinados aspetos, não sendo posta em causa a aplicação do modelo por completo. Sempre que determinada fase seja condicionada por algum aspeto, é possível dar mais ênfase a outras fases para que se possa compensar a fase descurada.

Após a aplicação do modelo proposto a um caso de estudo, compreende-se que a sua aplicação é efetivamente vantajosa e que contribui para facilitar o processo de conceção e a durabilidade dos resultados. Em termos financeiros, apesar do aumento do custo de construção, é necessário evidenciar que a implementação de uma construção baseada nos princípios bioclimáticos acaba por ser uma das vertentes mais económicas, tendo em conta o custo que a implementação de outras vertentes, por exemplo das energias renováveis, representa.

Por todos estes motivos, conclui-se que a implementação da construção bioclimática, através do modelo proposto, é uma mais-valia que deve ser acrescentada à mentalidade de todos os projetistas e utilizadores.

2. Desenvolvimentos Futuros

Dando continuidade ao tema discutido e desenvolvido ao longo desta dissertação, entende-se que é necessário definir algumas áreas que são passíveis de serem desenvolvidas em futuros trabalhos de investigação.

Tendo por base o trabalho elaborado, mostra-se relevante proceder a uma análise mais aprofundada do desempenho do modelo apresentado, considerando-se vantajosa a sua aplicação a mais casos de estudo, com características e condicionantes distintas. Para além de aplicar o modelo a um maior número de casos de estudo, também se considera uma mais-valia a avaliação do desempenho do modelo recorrendo a sistemas de avaliação da construção sustentável.

Por outro lado, uma análise mais detalhada do contributo de cada estratégia, que permitisse a sua ordenação em termos de desempenho, facilitaria o processo de conceção do projeto de edifícios de habitação, uma vez que os intervenientes no processo saberiam quais os pontos que lhes permitiriam alcançar, mais rapidamente, um balanço energético mais favorável.

Como ficou demonstrado ao longo desta dissertação, a construção de edifícios com base em preocupações bioclimáticas, contribui para o alcance de edifícios sustentáveis. Assim, justifica-se a aplicação do mesmo conceito a edifícios com outros usos e ocupações, por exemplo de serviços e comércio, sugerindo-se a criação de um modelo com base no apresentado neste trabalho, mas com aplicação a esses edifícios.

Glossário

Área Interior Útil de Pavimento

Somatório das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior, de todos os espaços interiores úteis pertencentes ao edifício ou fração.

Avaliação Energética

Avaliação detalhada das condições de exploração de energia de um edifício ou fração, com vista a identificar os diferentes vetores energéticos e a caracterizar consumos energéticos, podendo incluir, entre outros aspetos, o levantamento das características da envolvente e dos sistemas técnicos, a caracterização dos perfis de utilização e a quantificação, monitorização e a simulação dinâmica dos consumos energéticos.

Balanco Energético

É originado pela diferença entre as várias entradas e saídas de energia num determinado sistema. Tem em conta: a energia primária introduzida na central térmica pelas fontes energéticas, a energia solar que o edifício recebe e os contributos internos a custo zero (por exemplo: calor fornecido pelos habitantes, uso da cozinha, dos eletrodomésticos e da iluminação). Em termos de perdas abrange a energia perdida por transmissão e por ventilação, através das paredes do edifício (incluindo a energia associada à humidade) ou dissipada pela instalação térmica, nas fases de produção, regulação, distribuição e emissão de calor.

Calor

Energia que se transmite de um corpo com uma temperatura superior para outro com uma temperatura inferior, através de processos de condução (nos sólidos), convecção (nos fluidos) e radiação. É produzido por transformação do trabalho mecânico, por absorção de ondas eletromagnéticas, na sequência de reações químicas e nucleares e, em geral, na sequência de qualquer transformação energética.

Capacidade de Carga

Capacidade de um território ou meio de suportar determinada intensidade de uso.

Capacidade Térmica Útil

Quantidade de calor que um corpo necessita de receber para alterar a sua temperatura em uma unidade.

Capacidade Térmica Volumétrica

Medida da quantidade de energia necessária para elevar uma unidade de massa ou um volume de determinado material a uma unidade de mudança de temperatura.

Certificado SCE

Documento com número próprio, emitido por perito qualificado para a certificação energética par um determinado edifício ou fração, caracterizando-o em termos de desempenho energético.

Coeficiente de Transmissão Térmica

Quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que o elemento separa.

Compartimento de Serviço

Compartimento de um fogo no qual existem zonas de lavagens, instalações sanitárias ou zonas de confeção de alimentos.

Compartimento Principal

Compartimento de um fogo que constitui uma zona de estar ou de dormir. Incluem-se os quartos, escritórios, salas de estar e salas de jantar.

Condutibilidade Térmica

Transmissão térmica através de uma unidade de espessura de determinado material, para cada grau celsius de diferença de temperatura.

Conforto Térmico

Sensação de bem-estar relativamente à temperatura ambiente. Depende de um equilíbrio a atingir entre o calor produzido pelo corpo e as perdas de calor do corpo para o meio ambiente. Não existe nenhuma regra rígida que nos indique quais as melhores condições para o conforto de todas as pessoas. O conforto de um indivíduo é afetado mediante vários fatores: saúde, idade, atividade, roupas, sexo, etc.

Efluentes

Esgoto, água ou outro líquido, parcial ou completamente tratado ou no seu estado natural e que flui de qualquer componente de um esgotamento ou sob a superfície do solo num lençol freático ou sobre a superfície do solo.

Envolvente

Conjunto de elementos de construção do edifício ou fração, compreendendo paredes, pavimentos, coberturas e vãos, que separam o espaço interior útil do ambiente exterior, dos edifícios ou frações adjacentes, dos espaços não úteis e do solo.

Espaço Interior Útil

Espaço com condições de referência no âmbito do REH, compreendendo compartimentos que, para efeito de cálculo das necessidades energéticas, se pressupõem aquecidos ou arrefecidos de forma a manter uma temperatura interior de referência de conforto térmico, incluindo os espaços, que, não sendo usualmente climatizados, tais como arrumos interiores, despensas, vestíbulos ou instalações sanitárias, devam ser considerados espaços com condições de referência.

Espaço Não Útil

Conjunto dos locais fechados, fortemente ventilados ou não, que não se encontram englobados na definição de área útil de pavimento e que não se destinam à ocupação humana em termos permanentes e, portanto, em regra, não são climatizados. Incluem-se aqui armazéns, garagens, sótãos e caves não habitados, circulações comuns a outras frações autónomas do mesmo edifício, etc.

Evapotranspiração

Quantidade total de humidade que se evapora de qualquer área específica de solo e vegetação num dado sistema.

Fogo

Imóvel que se destina a habitação própria permanente.

Fração Autónoma ou Fração

Unidade mínima de um edifício, com saída própria para uma parte de uso comum ou para a via pública, independentemente da constituição de propriedades horizontais.

Gradiente Vertical de Ventos

Velocidade média horizontal do vento medida em altura.

Insolação

Quantidade de energia solar incidente numa determinada área durante certo período de tempo. A unidade comum de insolação é kW/(m².dia).

Necessidades Nominais de Energia Útil

Parâmetro que exprime a quantidade de energia útil necessária para manter em permanência um edifício ou uma fração autónoma a uma temperatura interior de referência durante a estação estudada (aquecimento ou arrefecimento).

Radiação Eletromagnética

Ondas de energia que podem viajar através do espaço e da matéria. Considera-se que vem do sol. Consiste em ondas eletromagnéticas com uma larga banda de frequências e comprimentos de onda. Algumas delas são, raio-x, ultravioleta, visível, infravermelho e rádio.

Regime de Inverno

O período do ano no qual o aquecimento da edificação é necessário para manter condições de conforto.

Resistência Térmica

Caraterística de um material tratando-se do produto da espessura (na direção do fluxo de calor) pelo inverso da condutibilidade. Para um elemento com várias camadas perpendiculares à direção do fluxo, as resistências são aditivas.

Sistema Ativo

Entendido como uma solução que tem suporte na introdução de mecanismo ou equipamentos com vista a assegurar soluções temporárias ou permanentes para obter ou repor o nível de conforto ambiental no interior do edifício.

Sistema Passivo

Sistema construtivo concebido especificamente para reduzir as necessidades energéticas dos edifícios, sem comprometer o conforto térmico dos ocupantes, através do aumento dos ganhos solares, designadamente ganhos solares diretos, paredes de tombe ou estufas, na estação de aquecimento ou através do aumento das perdas térmicas, designadamente ventilação, arrefecimento evaporativo, radiativo ou pelo solo, na estação de arrefecimento.

Temperatura do Bolbo Húmido

Temperatura de evaporação da água medida por um termómetro com o bolbo envolto por uma mecha mantida húmida com água destilada e ventilado por um ventilador ou pelo movimento giratório quando parte de um psicómetro.

Temperatura do Bolbo Seco

Temperatura de evaporação da água medida por um termómetro comum.

Termossifão

A circulação convectiva de um fluido que ocorre num sistema fechado no qual o fluido aquecido sobe e é substituído por um fluido mais frio, no mesmo sistema.

Ventilação Conjunta

Estratégia de ventilação na qual todos os compartimentos do fogo estão englobados, sendo realizada a admissão de ar pelos compartimentos principais e a exaustão pelos compartimentos de serviço.

Ventilação Separada

Estratégia de ventilação que divide o fogo em zonas ventiladas independentes.

Vertente

Constitui a orientação da superfície ou parte do volume do edifício a projetar e que tem correspondência direta com a orientação solar da mesma superfície ou volume do objeto a edificar.

Zenital

Ponto diretamente acima do observador.

Bibliografia

- ADENE - Agência para a Energia. (2012). EPBD (recast) e as implicações para Portugal. *Net Zero-Energy Buildings Conference*. Lisboa, 26 Jun. 2012.
- ADENE - Agência para a Energia. (2015). *Certificado Energético - Edifício de Habitação SCE1234567890*. Lisboa. Obtido em 17 de Junho de 2015, de ADENE: <http://www.adene.pt/sce/textofaqs/certificacao-de-edificios>
- AdEPorto. (2005). *Casa-Laboratório Termicamente Optimizada (Casa Solar)*. Obtido em 20 de Agosto de 2015, de Portal do Ambiente e do Cidadão: <http://ambiente.maiadigital.pt/cto-2013-casa-laboratorio-termicamente-optimizada>
- AFNOR Normalisation. (2012). *CEN/TC 350 Sustainability of construction works*. Obtido em 18 de Junho de 2015, de CEN AFNOR Normalisation: http://portailgroupe.afnor.fr/public_espacenormalisation/CENTC350/index.html
- Alcáface, A. M., Neves, S. O., Pereira, P., & Martins, R. S. (2015). *Relatório de Caracterização e Diagnóstico: Urbanização Casas de Santo António*. Curso de Pós-graduação em Construção Sustentável da Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Setúbal, Portugal.
- Amado, M. (2009). *Planeamento Urbano Sustentável* (3ª ed.). Lisboa: Caleidoscópio.
- Architects' Council of Europe. (2001). *A Green Vitruvius - Princípios e Práticas de Projecto para uma Arquitectura Sustentável*. Lisboa: Ordem dos Arquitectos.
- Bensusan, N., Barros, A. C., Bulhões, B., & Arantes, A. (2006). *Biodiversidade: para comer, vestir ou passar no cabelo?* São Paulo: Peirópolis.
- Bourdeau, L. (1999). Sustainable development and the future of construction: a comparison of visions from various countries. *Building Research & Information*, 27(6), 354-366. Obtido em 28 de Abril de 2015, de <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/096132199369183#>
- BRE. (2015). *The world's leading design and assessment method for sustainable buildings*. Obtido em 9 de Junho de 2015, de BREEAM: <http://www.breeam.org/index.jsp>
- CIB - Conseil International du Bâtiment. (1998). Sustainable Development and the Future of Construction - A comparison of visions from various countries. *CIB Report Publication*, 225.
- CIB - Conseil International du Bâtiment. (1999). Agenda 21: on sustainable construction. *CIB Report Publication*, 237.
- Coias, V. (2007). *Reabilitação: a melhor via para a construção sustentável*. Obtido em 5 de Maio de 2015, de GECORPA: http://www.gecorpa.pt/Upload/Documentos/Reab_Sustent1.pdf

- Communities and Local Government. (2010). *Code for Sustainable Homes - Technical Guide*. Londres: Department for Communities and Local Government. Obtido em 9 de Junho de 2015, de <https://www.gov.uk/government/publications/code-for-sustainable-homes-technical-guidance>
- DH 917. (2012). Documento de Homologação. *CIN-K - Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior*. Lisboa: LNEC.
- ECEEE - European Council for an Energy Efficient Economy. (2011). *EPBD Recast (Directive 2010/31/EU)*. Obtido em 16 de Junho de 2015, de European Council for an Energy Efficient Economy: http://www.eceee.org/policy-areas/buildings/EPBD_Recast
- ECOCHOICE & LENA. (2011). SBTToolPT. *Nova ferramenta de avaliação e certificação da construção sustentável lançada em Portugal*. Obtido em 13 de Junho de 2015, de http://www.escritadigital.pt/Edicoes/imagens/@ficheiros/2217_SBTTool%20PT.doc
- Eurostat. (2015). *Electricity and natural gas price statistics*. Obtido em 20 de Setembro de 2015, de Eurostat Statistics Explained: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_and_natural_gas_price_statistics
- Feldman Architecture, Inc. (2013). *Frank Lloyd Wright and the "Solar Hemicycle" (Jacobs II)*. Obtido em 20 de Agosto de 2015, de Feldman Architecture: <http://www.feldmanarchitecture.com/blog/frank-lloyd-wright-and-the-solar-hemicycle-jacobs-ii/>
- FEPICOP - Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas. (Janeiro de 2014). Produção da Construção em queda pelo 12º ano consecutivo. *Conjuntura da Construção*, 74.
- Ferreira, B. L. (2010). *Construção de Edifícios Sustentáveis - Contribuição para a definição de um Processo Operativo*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Setúbal, Portugal.
- Ganhão, A. M. (2011). *Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Setubal, Portugal.
- GOGUI - Construções, Unipessoal, Lda. (2013). Obtido em 23 de Agosto de 2015, de Urbanização Casas de Santo António: <http://www.casasdesantoantonio.pt/>
- Gonçalves, H., & Graça, J. M. (2004). *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. Lisboa: Instituto Nacional de Engenharia Tecnológica e Inovação.
- Goulart, S. (2008). Sustentabilidade nas Edificações e no Espaço Urbano. *Sebenta da Disciplina de Desempenho Térmico de Edificações*. Santa Catarina, Brasil: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, UFSC.
- Governo da República Portuguesa. (2006). *Comunicado do Conselho de Ministros de 28 de Dezembro de 2006*. Obtido em 3 de Abril de 2015, de Comunicados do Conselho de

- Ministros do XVII Governo - 2006: <http://www.portugal.gov.pt/pt/o-governo/arquivo-historico/governos-constitucionais/gc17/comunicados-cm/cm-2006/20061228.aspx>
- Henriques, F. M. (2011). *Comportamento Higrotérmico de Edifícios* (11.5 ed.). Lisboa: UNL-FCT.
- INE - Instituto Nacional de Estatística. (2012). *Censos 2011 - Resultados Definitivos (Portugal)*. Lisboa. Obtido em 8 de Maio de 2015, de Instituto Nacional de Estatística: http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_publicacoes
- INE - Instituto Nacional de Estatística. (2013). *Reabilitação do Parque Habitacional (2001 - 2011). Destaque - Informação à Comunicação Social*.
- INE - Instituto Nacional de Estatística. (2014). *Estatísticas da Construção e Habitação 2013*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, LP.
- INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação. (2005). *Edifício SOLAR XXI - Um edifício energeticamente eficiente em Portugal*. Lisboa. Obtido de http://www.ineg.pt/download/4078/BrochuraSolarXXI_Dezembro2005.pdf
- ISO - International Organization for Standardization. (2015). *Standards catalogue*. Obtido em 18 de Junho de 2015, de ISO: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics.htm
- ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências de Construção. (2011). *Catálogo de Pontes Térmicas Lineares*. Obtido em 2 de Agosto de 2015, de ITeCons: <http://www.itecons.uc.pt/catalogoptl/index.php>
- Kachadorian, J. (1997). *The Passive Solar House: using solar design to heat and cool your home*. Vermont: Chelsea Green Publishing Company.
- Kibert, C. J. (1994). Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction. *Sustainable Construction, CIB TG 16*.
- Lamberts, R., Dutra, L., & Pereira, F. O. (1997). *Eficiência Energética na Arquitetura*. São Paulo: PW Editores.
- Lanham, A., Gama, P., & Braz, R. (2004). *Arquitetura Bioclimática: Perspectivas de inovação e futuro. Seminários de Inovação*. Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Larsson, N. (2012). *Part A, User Guide to the SBTool 2012 assessment framework*. iiSBE. Obtido em 11 de Junho de 2015, de <http://iisbe.org/system/files/SBTool%202012%20User%20Guide%20Part%20A%2007Dec12.pdf>
- Larsson, N. (2014). *Overview of the SBTool assessment framework*. iiSBE.
- LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (2006). Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios (ITE 50). *Informações Científicas e Técnicas, 2ª*. Lisboa: LNEC.
- LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (2009). *Caraterização Térmica de Paredes de Alvenaria (ITE 12)*. *Informações Científicas e Técnicas*. Lisboa: LNEC.

- LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (2009). Caraterização Térmica de Pavimentos Pré-fabricados (ITE 11). *Informações Científicas e Técnicas*. Lisboa: LNEC.
- LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia. (2010). *SOLAR - Em direcção à energia zero*. Lisboa. Obtido em 20 de Agosto de 2015, de http://www.lneg.pt/download/4079/BrochuraSolarXXI_Maio2010.pdf
- Lopes, T. F. (2010). *Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Lowe, C., & Ponce, A. (2009). *UNEP-FI / SBCI'S Financial & Sustainability Metrics Report*. BRE & CSTB. Obtido em 8 de Junho de 2015, de http://www.unepfi.org/fileadmin/documents/metrics_report_01.pdf
- Lucas, V. S. (2011). *Construção Sustentável - Sistema de Avaliação e Certificação*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Setubal, Portugal.
- Mesureur, B. (2009). Sustainable Building Alliance, Common metrics for key issues. *Advancements for Metal Buildings Congress*. Helsinquia, 12-13 Nov. 2010.
- Nascimento, C., & Gonçalves, H. (2005). *Prémio DGE 2003 - Eficiência Energética em Edifícios*. Lisboa.
- Palhinha, M. S. (2009). *Sistemas de Sombreamento em Arquitetura: Proposta de um Novo Método de Concepção e Dimensionamento*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Pinheiro, M. D. (2006). *Ambiente e Construção Sustentável*. Amadora: Instituto do Ambiente.
- Pinto, A. (2014). *Aplicação LNEC para a Ventilação no âmbito do REH e RECS, v.2.0a*. Lisboa: LNEC. Obtido em 12 de Setembro de 2015, de <http://www.lnec.pt/pt/servicos/ferramentas/aplicacoes-informaticas/eficiencia-energetica/>
- Quercus. (2009). *Ciclo de Vida dos Edifícios*. Obtido em 21 de Abril de 2015, de Quercus: <http://quercus.pt/siteantigo/www.quercus.pt/scid/webquercus/defaultArticleViewOneb018.html?categoryID=677&articleID=1935#>
- Ribeiro, M. (2007). *Ficha Técnica de Caraterização do Projecto*. Barreiro: PROGESTO.
- Rita, J. S. (2008). Contribuição das Argamassas para a Eficiência Energética dos Edifícios. *Eficiência energética e arquitectura solar passiva: exemplos de aplicação*, (pp. 6-34). Universidade do Minho, Guimarães. Obtido em 20 de Agosto de 2015, de <http://www.apfac.pt/eventos/UMNov08/Santa%20Rita%20UMNov08.pdf>
- Roaf, S., Fuentes, M., & Thomas, S. (2006). *Ecohouse - A Casa Ambientalmente Sustentável* (2ª ed.). (A. F. Salvaterra, Trad.) Porto Alegre: Bookman.
- Rojas, S. E. (2010). Condiciones de Aplicación de las Estrategias Bioclimáticas. *Cuaderno de Investigación Urbanística*, 69, pp. 88-100.

- SBA - Sustainable Building Alliance. (2012). *About*. Obtido em 16 de Junho de 2015, de Sustainable Building Alliance: <http://www.sballiance.org/about/>
- Serra, R. (2000). *Arquitectura y Climas* (2ª ed.). Barcelona: GG Básicos.
- Silva, L. D. (2009). *Impacto das Formas Urbanas no Desempenho Térmico dos Edifícios segundo o Método do RCCTE*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Ordenamento da Cidade, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Soares, R. (15 de Dezembro de 2014). Actividade do sector da construção deverá crescer 2% em 2015. *Público*. Obtido em 30 de Março de 2015, de <http://www.publico.pt/economia/noticia/actividade-do-sector-da-construcao-devera-crescer-2-em-2015-1679465>
- Sousa, P. M. (2012). *Construção Sustentável - Contributo para a Construção de Sistema de Certificação*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Setubal, Portugal.
- Svenningsen, N. (2007). The Sustainable Buildings and Construction Initiative. *UNEP SBCI*, (pp. 2-11). Paris. Obtido em 28 de Abril de 2015, de http://www.unepfi.org/fileadmin/events/2006/paris_pwg/3unep_sbci.pdf
- U.S. Department of Energy. (2011). *Building Energy Software Tools Directory*. Obtido em 22 de Junho de 2015, de Energy Efficiency & Renewable Energy: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/
- UN - United Nations. (1996). The Habitat Agenda Goals and Principles, Commitments and the Global Plan of Action. *The Habitat Agenda*. Obtido em 23 de Abril de 2015, de http://ww2.unhabitat.org/declarations/habitat_agenda.asp
- UN - United Nations. (2014). Concise Report on the World Population Situation in 2014. *Economic & Social Affairs*, 354.
- UN - United Nations. (2014). *Kyoto Protocol*. Obtido em 21 de Abril de 2015, de United Nations - Framework Convention on Climate Change: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php
- UNEP. (Abril de 2003). Sustainable Building and Construction: facts and figures. *Industry and Environment*, 26 N.º 2-3, pp. 5-98.
- USGBC - U.S. Green Building Council. (2013). *Reference Guide for Homes Design and Construction v.4*. Washington, DC: USGBC.
- USGBC - U.S. Green Building Council. (2015). *LEED*. Obtido em 10 de Junho de 2015, de USGBC: <http://www.usgbc.org/leed>
- WBCSD - World Business Council for Sustainable Development. (2009). Transforming the Market. *Energy Efficiency in Buildings*.
- WCED - World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. Oslo: World Commission on Environment and Development.

Legislação

- Declaração de retificação n.º 127/2014 de 11 de Fevereiro. (2014). *Diário da República*, 2.ª série - N.º 29. Direção-Geral de Energia e Geologia.
- Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto. (2013). *Diário da República*, 1.ª série - N.º 159. Ministério da Economia e do Emprego.
- Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho. (2011). *Diário da República*, 1.ª série - N.º 116. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. (2006). Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). *Diário da República - 1ª Série-A* N.º 67.
- Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro. (2007). *Diário da República*, 1.ª série - N.º 12. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho. (2008). *Diário da República*, 1.ª série - N.º 110. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013 de 3 de Dezembro. (2013). *Diário da República*, 2.ª série - N.º 234.
- Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013 de 3 de Dezembro. (2013). *Diário da República*, 2.ª série - N.º 234.
- Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013 de 3 de Dezembro. (2013). *Diário da República*, 2.ª série - N.º 234.
- Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro. (2013). *Diário da República*, 2.ª série - N.º 234.
- Directive 2010/31/EU de 19 de Maio. (2010). *Official Journal of the European Union* 18.6.2010 (EN). Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia.
- Diretiva 2012/27/UE de 25 de Outubro. (2012). *Jornal Oficial da União Europeia* 14.11.2012 (PT). Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia.
- ISO/FDIS 10456:2007 (E). (2007). International Standard. *Building materials and products - Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values*. Geneve: ISO copyright office.
- NP 1037-1. (2002). Norma Portuguesa. *Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural*. Monte de Caparica: Instituto Português da Qualidade.
- Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de Novembro. (2013). *Diário da República*, 1.ª série - N.º 232. Ministério da Economia e do Emprego.
- Regulamento (UE) n.º 305/2011 de 9 de Março. (2011). *Jornal Oficial da União Europeia* 4.4.2011 (PT). Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia.

Anexos

Anexo A – Ficha do Modelo de Projeto Bioclimático	135
Anexo B – Tabelas Auxiliares do Modelo de Projeto Bioclimático.....	143
Anexo C – Apresentação do Caso de Estudo.....	153
Anexo D – Fases de Aplicação do Modelo ao Caso de Estudo	161
Anexo E – Ficha do Modelo aplicada ao Caso de Estudo	171
Anexo F – Resultados da Aplicação do Modelo	181

Anexo A

Ficha do Modelo de Projeto Bioclimático

Localização										
Concelho										
Latitude (°)										
Longitude (°)										
Altitude (m)										
Distância à costa (km)					(Inferior a 5 km / Superior a 5 km)					
Ambiente envolvente					(Zona urbana / Periferia de zona / Zona rural / Zona sem obstáculos)					
Caraterização Macroclimática										
Zonamento climático										
Zonas climáticas										
Duração da estação de aquecimento (meses)										
Duração da estação de arrefecimento (meses)					(de acordo com Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013 de 3 de Dezembro, 2013)					
$\theta_{ext,i}$ (°C)										
$\theta_{ext,v}$ (°C)										
GD (°C)										
G_{Sul} (kWh/m ² .mês)										
I_{sol} (kWh/m ² acumulados de junho a setembro)										
H	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW		
(de acordo com Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013 de 3 de Dezembro, 2013)										
Caraterização do vento na estação de aquecimento										
Orientação mais frequente					(de acordo com Normais Climatológicas)					
Velocidades mais intensas (km/h)										
Caraterização do vento na estação de arrefecimento										
Orientação mais frequente					(de acordo com Normais Climatológicas)					
Velocidades mais intensas (km/h)										
Caraterização Microclimática										
Edifícios e outros obstáculos construídos na envolvente										
Classe de proteção ao vento					Desprotegido	Normal	Protegido			
Vertente norte										
Vertente sul					(de acordo com Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)					
Vertente este										
Vertente oeste										
Sombreamento					Orientação dos Obstáculo					
Vertente norte										
Vertente sul										
Vertente este										
Vertente oeste										
Barreiras vegetais existentes										
Influência na intensidade do vento					Limite até 12,5h					
Norte										
Sul					(distância ao lote, altura, caraterização da copa e da folhagem)					
Este										
Oeste										

	Influência na radiação solar incidente		Limite até 2h							
		Norte								
		Sul	(distância ao lote, altura, caracterização da copa e da folhagem)							
		Este								
		Oeste								
	Massas de água		(tipologia – mar, rio, lago, etc.)							
Forma e Orientação	Forma									
	Largura do edifício (m)									
	Profundidade do edifício (m)									
	Nº de pisos acima do solo									
	Nº de pisos abaixo do solo									
	Altura do edifício (m)									
	A_{env} (m ²)									
	V_{edif} (m ³)									
	Fator de forma $\left(\frac{A_{env}}{V_{edif}} < 0,5\right)$									
	Orientação									
Orientação do edifício										
Espaços Interiores	Orientação / Localização									
	Fração									
	Tipologia									
	Situação da fração face a outras frações		(piso térreo / entre pisos / último piso / sobre garagem / sobre serviços / sobre cave / outra)							
	Nº de pisos da fração									
	Pé direito (m)									
	Área útil de pavimento (m ²)									
	Compartimento		Orientação		A_{pav} (m ²)					
Vãos Envidraçados e Dispositivos de Proteção Solar	Localização e Dimensão dos Vãos Envidraçados									
	Área / Orientação / Tipo									
	Compartimento		Orientação		X_j	A_w (m ²)	F_g	$g_{\perp,vi}$	g_i	n
					(Tabela 4.3)		(Tabela B.2)	(Tabela B.1)	(3)	
	Ganho Térmico									
	n	$A_{s,i}$ (m ²)	Estação de Aquecimento				U_{wdn} (W/(m ² .°C))	$Q_{sol,i}$ (kWh)	$Q_{tr,i}$ (kWh)	
	(2)	F_h	F_o	F_f	F_s	ITE 50	(1)	(5)		
		(Tabela B.6)	(Tabela B.7)	(Tabela B.9)	(4)					

Vãos Envidraçados e Dispositivos de Proteção Solar	Localização e Dimensão dos Dispositivos de Proteção Solar							
	Ganho Térmico							
	n	F_{mv}	g_{Tvc}	g_T	$F_{w,v}$	g_{TP}	g_v	$A_{s,vnj}$ (m ²)
		(Tabela B.3)	(Tabela B.5)	(10) ou (11)	(Tabela B.4)		(9)	(8)
	n	Estação de Arrefecimento				I_{sol} (kWh/m ²)	$Q_{sol,v}$ (kWh)	
		F_h	F_o	F_f	F_s			
		1,00	(Tabela B.8)	(Tabela B.10)	(4)		(7)	
	Verificação de condições							
	Compartimento	A_w (m ²)	A_w/A_{pav} (> 5%)	$15\% \cdot A_{pav}$ (m ²)	$g_{Tmáx}$	$g_T \cdot F_o \cdot F_f$	Verifica	
					(Tabela 4.4)	(12) ou (13)		
Isolamento Térmico	Caraterização/Avaliação dos Ambientes de Fronteira							
	Espaços não úteis							
	Ambiente	A_i (m ²)	A_u (m ²)	A_i/A_u	V_{enu} (m ³)	Tipo	b_{tr}	Classificação
						(f/F)	(Tabela 4.5)	
	Pontes Térmicas Lineares							
	Tipo de ligação						Análise	
	Fachada com pavimentos térreos							
	Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido							
	Fachada com cobertura							
	Fachada com pavimento de nível intermédio							
	Fachada com varanda							
	Fachada com caixilharia							
	Duas paredes verticais em ângulo saliente							
	Zona de caixa de estore							
	Outros ambientes							
	Tipo de ambiente				Posição do elemento		Análise	
	Exterior				Vertical			
					Horizontal			
	Outros edifícios				Vertical			
Horizontal								
Terreno				Vertical				
				Horizontal				

Isolamento Térmico	Soluções de Isolamento Térmico						
	Fração						
	Zona corrente da envolvente						
	Elemento		$U_{ref} U_{máx}$ (W/(m ² .°C))		U (W/(m ² .°C))		
			(Tabela B.12 Tabela B.11)				
	Pontes Térmicas Lineares						
	Ligação		ψ_{ref} (W/(m.°C))		ψ (W/(m.°C))		
			(Tabela B.13)				
	Transferências de Calor por Transmissão						
	Fração						
	Estação de Aquecimento						
	H_{ext} (W/°C)	H_{enu} (W/°C)	H_{adj} (W/°C)	H_{ecs} (W/°C)	$H_{tr,i}$ (W/°C)	$Q_{tr,i}$ (kWh)	
	(20)	(21)	(21)	(22)	(18)	(5)	
	Estação de Arrefecimento						
	H_{ext} (W/°C)	H_{enu} (W/°C)	H_{ecs} (W/°C)	$H_{tr,v}$ (W/°C)	$Q_{tr,v}$ (kWh)		
(20)	(21)	(22)	(19)	(17)			
Massa Térmica e Inércia Térmica	Determinação da Massa Térmica						
	Fração						
	Tipo	ID.Elemento			IT	CA	$M_{s,i}$ (kg/m ²)
							(Tabela 4.6)
	Determinação da Inércia Térmica						
	Fração						
	ID.Revestimento Interior				R (m ² .°C/W)		
	Elemento	r	S_i (m ²)	$M_{s,i} \cdot r \cdot S_i$ (kg)	A_p (m ²)	I_t (kg/m ²)	
		(Tabela 4.7)				(23) e (Tabela 4.8)	
Ventilação Natural	Caudal-tipo						
	Fração						
	Tipo	Compartimento	Volume (m ³)		Caudal-tipo (m ³ /h)	Sentido	
	(Principal / Serviço)					(Admissão / Evacuação)	
	Esquema de Ventilação						
	Compartimento		Caudal-tipo total (m ³ /h)		Sentido		
					(Admissão / Evacuação)		

Ventilação Natural	Caudal de Ar de Ventilação e Aberturas						
	Fração						
	Compartimento	Caudal total (m ³ /h)	Renovações de ar (h ⁻¹)	Caudal de admissão (m ³ /h)	Caudal de evacuação (m ³ /h)		
	Setor						
	Aberturas						
	Compartimento	Admissão		Passagem		Evacuação	
		ΔP (Pa)	A_u (cm ²)	ΔP (Pa)	A_u (cm ²)	ΔP (Pa)	A_u (cm ²)
		(Tabela 4.9)	(24)	(Tabela 4.9)	(24)	(Tabela 4.9)	(24)
	Taxa de Renovação do Ar						
	$R_{ph,i}$ (h ⁻¹)		$R_{ph,v}$ (h ⁻¹)		$R_{ph,i ref}$ (h ⁻¹)		
	(Folha de cálculo disponibilizada pelo LNEC)						
	Transferência de Calor por Ventilação						
	$H_{ve,i}$ (W/°C)	$Q_{ve,i}$ (kWh)		$Q_{ve,i ref}$ (kWh)		$Q_{ve,v}$ (kWh)	
(26)	(25)		(27)		(28)		

Câmaras-de-ar	Área / Orientação / Tipo							
	Ambiente	Orientação	$(A_w)_{int}$ (m ²)	$(F_g)_{int}$	$(F_g)_{enu}$	$(g_{\perp,vi})_{int}$	$(g_{\perp,vi})_{enu}$	
				(Tabela B.2)	(Tabela B.2)	(Tabela B.1)	(Tabela B.1)	
	Ganhos Térmicos na Estação de Aquecimento							
	$(g_i)_{int}$	$(g_i)_{enu}$	$(A_{s,i})_{int}$ (m ²)	Estação de Aquecimento				$Q_{sol,i}$ (kWh)
				F_h	F_o	F_f	F_s	X_j
	(3)	(3)	(29)	(Tabela B.6)	(Tabela B.7)	(Tabela B.9)	(4)	(Tabela 4.3)
	Ganhos Térmicos na Estação de Arrefecimento							
	$(g_T)_{int}$	$(g_{TP})_{int}$	$(F_{mv})_{int}$	$(g_v)_{int}$	$(g_{TP})_{enu}$	$(g_v)_{enu}$		
	(10) ou (11)		(Tabela B.3)	(9)		(9)		
$A_{s,v}$ (m ²)	Estação de Arrefecimento				I_{sol} (kWh/m ²)	$Q_{sol,v}$ (kWh)		
	F_h	F_o	F_f	F_s				
	1,00	(Tabela B.8)	(Tabela B.10)	(4) ou 1,00		(7)		

Cor	Revestimentos Exteriores				
	Orientação da Fachada	Cor		Classe	α
				(Tabela 4.10)	(Tabela 4.10)
	Área Efetiva Coletora				
	Elemento / Orientação		α	U (W/(m ² .°C))	A_{op} (m ²)
					(31)

Anexo B

Tabelas Auxiliares do Modelo de Projeto Bioclimático

Tabela B.1 – Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Composição do vidro		$g_{L,vi}$
Vidro simples	Incolor 4mm	0,88
	Incolor 5mm	0,87
	Incolor 6mm	0,85
	Incolor 8mm	0,82
	Colorido na massa 4mm	0,70
	Colorido na massa 5mm	0,65
	Colorido na massa 6mm	0,60
	Colorido na massa 8mm	0,50
	Refletante incolor 4 a 8mm	0,60
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm	0,50
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm	0,45
	Fosco	(1)
	Vidro duplo (ext + int)	Incolor 4 a 8mm + Incolor 4mm
Incolor 4 a 8mm + Incolor 5mm		0,75
Colorido na massa 4mm + Incolor 4 a 8mm		0,60
Colorido na massa 5mm + Incolor 4 a 8mm		0,55
Colorido na massa 6mm + Incolor 4 a 8mm		0,50
Colorido na massa 8mm + Incolor 4 a 8mm		0,45
Refletante incolor 4 a 8mm + Incolor 4 a 8mm		0,52
Refletante colorido na massa 4 a 5mm + Incolor 4 a 8mm		0,40
Refletante colorido na massa 6 a 8mm + Incolor 4 a 8mm		0,35
Tijolo de vidro		0,57
Fosco		(1)

(1) – nas situações de vidro fosco, podem ser utilizados valores de fator solar correspondentes às soluções de vidro incolor de igual composição.

Tabela B.2 – Fração envidraçada

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Caixilharia	F_g	
	Sem quadrícula	Com quadrícula
Alumínio ou aço	0,70	0,60
Madeira ou PVC	0,65	0,57
Fachada-cortina de alumínio ou aço	0,90	-

Tabela B.3 – Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Orientação do vão	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
F_{mv}	0	0,4	0,6	0,7	0,6	0,9

Tabela B.4 – Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Orientação do vão	$F_{w,v}$				
	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W
Vidro plano simples	0,85	0,90	0,80	0,90	0,90
Vidro plano duplo	0,80	0,85	0,75	0,85	0,85

Tabela B.5 – Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Tipo de Proteção		g_{Tvc}					
		Vidro Simples			Vidros Duplos		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Proteções Exteriores	Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
	Persiana de réguas de madeira	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano de lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estore veneziano de lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
	Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
	Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,20
Proteções Interiores	Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
	Cortinas opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
	Cortinas ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
	Cortinas transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
	Cortinas muito transparentes	0,70	-	-	0,63	-	-
	Portadas opacas	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
	Persianas	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
	Proteções entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas	-	-	-	0,28	0,34	0,40

Tabela B.6 – Valores do fator de sombreamento do horizonte

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Ângulo do horizonte	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°						RAM Latitude de 33°					
	H	N	NE NW	E W	SE SW	S	H	N	NE NW	E W	SE SW	S
	0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10°	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97	1	1	0,96	0,96	0,97	0,98
20°	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,90	0,96	1	0,91	0,87	0,90	0,93
30°	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67	0,88	1	0,85	0,75	0,77	0,80
40°	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,50	0,71	1	0,81	0,64	0,59	0,58
45°	0,62	1	0,80	0,58	0,48	0,45	0,64	1	0,80	0,60	0,53	0,51

Tabela B.7 – Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais na estação de aquecimento

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE NW	E W	SE SW	S	N	NE NW	E W	SE SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	1	0,94	0,84	0,76	0,73	1	0,92	0,82	0,68	0,45
45°	1	0,90	0,74	0,63	0,59	1	0,88	0,72	0,60	0,56
60°	1	0,85	0,64	0,49	0,44	1	0,83	0,62	0,48	0,43

Tabela B.8 – Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais na estação de arrefecimento

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE NW	E W	SE SW	S	N	NE NW	E W	SE SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	0,98	0,86	0,75	0,68	0,63	0,97	0,84	0,74	0,69	0,68
45°	0,97	0,78	0,64	0,57	0,55	0,95	0,76	0,63	0,60	0,62
60°	0,94	0,70	0,55	0,50	0,52	0,92	0,68	0,55	0,54	0,60

Tabela B.9 – Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais na estação de aquecimento

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	1	0,97	0,93	0,91	0,87	0,89
	45°	1	1	1	0,95	0,88	0,86	0,80	0,84
	60°	1	1	1	0,91	0,83	0,79	0,72	0,80
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,89	0,87	0,91	0,93	0,97	1	1
	45°	1	0,84	0,80	0,86	0,88	0,95	1	1
	60°	1	0,80	0,72	0,79	0,83	0,91	1	1

Tabela B.10 – Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais na estação de arrefecimento

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	0,96	0,91	0,91	0,96	0,95	0,86
	45°	1	1	0,96	0,85	0,87	0,95	0,93	0,78
	60°	1	1	0,95	0,77	0,84	0,93	0,88	0,69
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,86	0,95	0,96	0,91	0,91	0,96	1
	45°	1	0,78	0,93	0,95	0,87	0,85	0,96	1
	60°	1	0,69	0,88	0,93	0,84	0,77	0,95	1

Tabela B.11 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos

(Fonte: Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de Novembro, 2013)

$U_{m\acute{a}x}$ (W/(m ² .°C))		Zona Climática		
		I1	I2	I3
Elemento da envolvente em contacto com o exterior ou espaços não úteis com $b_{tr} > 0,7$	Elementos verticais	1,75	1,60	1,45
	Elementos horizontais	1,25	1,00	0,90
Elemento da envolvente em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com $b_{tr} \leq 0,7$	Elementos verticais	2,00	2,00	1,90
	Elementos horizontais	1,65	1,30	1,20

Tabela B.12 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados

(Adaptado de Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de Novembro, 2013)

U_{ref} (W/(m ² .°C))		Zona Climática					
		Portugal Continental			Regiões Autónomas		
Zona corrente da envolvente		I1	I2	I3	I1	I2	I3
Em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0,7$	Elementos opacos verticais	0,40	0,35	0,60	0,80	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,35	0,30	0,25	0,45	0,40	0,35
Em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0,7$	Elementos opacos verticais	0,80	0,70	0,60	1,50	1,40	1,30
	Elementos opacos horizontais	0,70	0,60	0,50	0,85	0,75	0,65
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,80	2,40	2,20	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,5			0,50		

Tabela B.13 – Coeficientes de transmissão térmica lineares de referência

(Adaptado de Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de Novembro, 2013)

Tipo de ligação	ψ_{ref} (W/(m.°C))
Fachada com pavimentos térreos Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido Fachada com cobertura Fachada com pavimento de nível intermédio ⁽¹⁾ Fachada com varanda ⁽¹⁾	0,50
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,40
Fachada com caixilharia Zona de caixa de estore	0,20

⁽¹⁾ Os valores apresentados dizem respeito a metade da perda originada na ligação.

Tabela B.14 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento contínuo ou sem isolamento térmico

(Fonte: Declaração de retificação n.º 127/2014 de 11 de Fevereiro, 2014)

B'	z ≤ 0,5 m				0,5 m < z ≤ 1,0 m				1,0 m < z ≤ 2,0 m			
	R _f (m ² .°C/W)				R _f (m ² .°C/W)				R _f (m ² .°C/W)			
	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3
3	0,65	0,57	0,32	0,24	0,57	0,44	0,30	0,23	0,51	0,41	0,29	0,22
4	0,57	0,52	0,30	0,23	0,52	0,41	0,28	0,22	0,47	0,37	0,27	0,21
6	0,47	0,43	0,27	0,21	0,43	0,35	0,25	0,20	0,40	0,33	0,24	0,19
10	0,35	0,32	0,22	0,18	0,32	0,28	0,21	0,17	0,30	0,26	0,20	0,17
15	0,27	0,25	0,18	0,15	0,25	0,22	0,18	0,15	0,24	0,21	0,17	0,14
≥ 20	0,22	0,21	0,16	0,13	0,21	0,18	0,15	0,13	0,20	0,18	0,15	0,13
B'	2,0 m < z ≤ 3,0 m				z > 3,0 m							
	R _f (m ² .°C/W)				R _f (m ² .°C/W)							
	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3				
3	0,45	0,37	0,27	0,21	0,39	0,32	0,24	0,20				
4	0,42	0,34	0,25	0,20	0,36	0,30	0,23	0,19				
6	0,36	0,30	0,23	0,18	0,31	0,27	0,21	0,17				
10	0,28	0,24	0,19	0,16	0,25	0,22	0,18	0,15				
15	0,22	0,20	0,16	0,14	0,20	0,18	0,15	0,13				
≥ 20	0,19	0,17	0,14	0,12	0,17	0,16	0,13	0,12				

Nota 1: para pavimentos com $z \leq 0,5$ m e resistência térmica inferior a $0,5$ m².°C/W, o valor do seu coeficiente de transmissão térmica corresponde a $1,15 \cdot U_{(R_f=0,5)}$

Nota 2: para pavimentos com $z > 0,5$ m e resistência térmica inferior a $0,5$ m².°C/W, o valor do seu coeficiente de transmissão térmica corresponde a $1,10 \cdot U_{(R_f=0,5)}$

Tabela B.15 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos com contacto com o terreno com isolamento térmico perimetral horizontal

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

B'	D = 0,5 m					D = 1,0 m				
	R _f (m ² .°C/W)					R _f (m ² .°C/W)				
	0	0,5	1	2	≥ 3	0	0,5	1	2	≥ 3
3	0,86	0,60	0,46	0,29	0,21	0,79	0,57	0,44	0,29	0,20
4	0,74	0,54	0,42	0,29	0,21	0,69	0,52	0,41	0,28	0,21
6	0,59	0,45	0,36	0,26	0,20	0,55	0,43	0,36	0,26	0,20
10	0,42	0,34	0,28	0,22	0,18	0,40	0,33	0,28	0,22	0,18
15	0,32	0,26	0,23	0,18	0,15	0,30	0,25	0,22	0,18	0,15
20	0,26	0,21	0,19	0,15	0,13	0,24	0,21	0,19	0,15	0,13
B'	D = 1,5 m									
	R _f (m ² .°C/W)									
	0	0,5	1	2	≥ 3					
3	0,75	0,55	0,42	0,28	0,20					
4	0,66	0,50	0,40	0,28	0,20					
6	0,53	0,42	0,35	0,26	0,20					
10	0,38	0,32	0,27	0,21	0,18					
15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15					
20	0,24	0,21	0,18	0,15	0,13					

Nota: para efeito de aplicação da presente tabela, considera-se como espessura mínima de isolamento o valor de 30 mm.

Tabela B.16 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos com contacto com o terreno com isolamento térmico perimetral vertical

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

B'	D = 0,5 m					D = 1,0 m				
	R_f (m ² .°C/W)					R_f (m ² .°C/W)				
	0	0,5	1	2	≥ 3	0	0,5	1	2	≥ 3
3	0,79	0,57	0,44	0,29	0,20	0,72	0,53	0,41	0,27	0,20
4	0,69	0,52	0,41	0,28	0,21	0,63	0,49	0,39	0,27	0,20
6	0,55	0,43	0,36	0,26	0,20	0,51	0,41	0,34	0,25	0,20
10	0,40	0,33	0,28	0,22	0,18	0,38	0,31	0,27	0,21	0,17
15	0,30	0,25	0,22	0,18	0,15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15
20	0,24	0,21	0,19	0,15	0,13	0,23	0,20	0,18	0,15	0,13
B'	D = 1,5 m									
	R_f (m ² .°C/W)									
	0	0,5	1	2	≥ 3					
3	0,68	0,50	0,39	0,26	0,19					
4	0,60	0,47	0,38	0,26	0,20					
6	0,49	0,40	0,33	0,25	0,19					
10	0,36	0,31	0,27	0,21	0,17					
15	0,28	0,24	0,21	0,17	0,15					
20	0,23	0,20	0,18	0,15	0,13					

Nota: para efeito de aplicação da presente tabela, considera-se como espessura mínima de isolamento o valor de 30 mm.

Tabela B.17 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes em contacto com o terreno

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Z (m)	R_w (m ² .°C/W)						
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	≥ 3,0	
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,30	
0,5	2,77	1,10	0,70	0,51	0,40	0,28	
1	1,97	0,91	0,61	0,46	0,36	0,26	
2	1,32	0,70	0,50	0,38	0,31	0,23	
4	0,84	0,50	0,38	0,30	0,25	0,19	
≥ 6	0,64	0,39	0,31	0,25	0,21	0,17	

Tabela B.18 – Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Tipo de ligação		Sistema de isolamento das paredes		
		Isolamento interior	Isolamento exterior	Isolamento repartido ou na caixa de ar de parede dupla
Fachada com pavimentos térreos		0,80	0,70	0,80
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	Isolamento sob o pavimento	0,75	0,55	0,75
	Isolamento sobre o pavimento	0,10	0,50	0,35
Fachada com pavimento de nível intermédio ⁽¹⁾		0,60	0,15 ⁽²⁾	0,50 ⁽³⁾
Fachada com varanda ⁽¹⁾		0,60	0,60	0,55
Fachada com cobertura	Isolamento sob a laje de cobertura	0,10 ⁽⁴⁾	0,70	0,60
	Isolamento sobre a laje de cobertura	1,00	0,80	1,0
Duas paredes verticais em ângulo saliente		0,10	0,40	0,50
Fachada com caixilharia	O isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	0,10	0,10	0,10
	O isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	0,25	0,25	0,25
Zona da caixa de estores		0,30	0,30	0,30

⁽¹⁾ Os valores apresentados dizem respeito a metade da perda originada na ligação.⁽²⁾ ⁽³⁾ ⁽⁴⁾ Majorar quando existe um teto falso em ⁽²⁾ 25%; ⁽³⁾ 50%; ⁽⁴⁾ 70%.**Tabela B.19 – Valores das resistências térmicas superficiais**

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Sentido do fluxo de calor		Resistência térmica superficial (m ² .°C/W)	
		Exterior (R_{se})	Interior (R_{si})
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente	0,04	0,17

Tabela B.20 – Valores da resistência térmica dos espaços de ar não ventilados

(Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Direção e sentido do fluxo de calor	Espessura e_j (mm)	R_{ar} (m ² .°C/W)
Horizontal	< 5	0,00
	5	0,11
	10	0,15
	15	0,17
	25 a 300 ⁽¹⁾	0,18
Vertical ascendente	< 5	0,00
	5	0,11
	10	0,15
	15 a 300 ⁽¹⁾	0,16
Vertical descendente	< 5	0,00
	5	0,11
	10	0,15
	15	0,17
	25	0,19
	50	0,21
	100	0,22
	300 ⁽¹⁾	0,23

⁽¹⁾ para espaços de ar com espessuras superiores a 300 mm não se deve considerar uma resistência térmica única, considerando-se estes espaços como um espaço não útil.

Anexo C

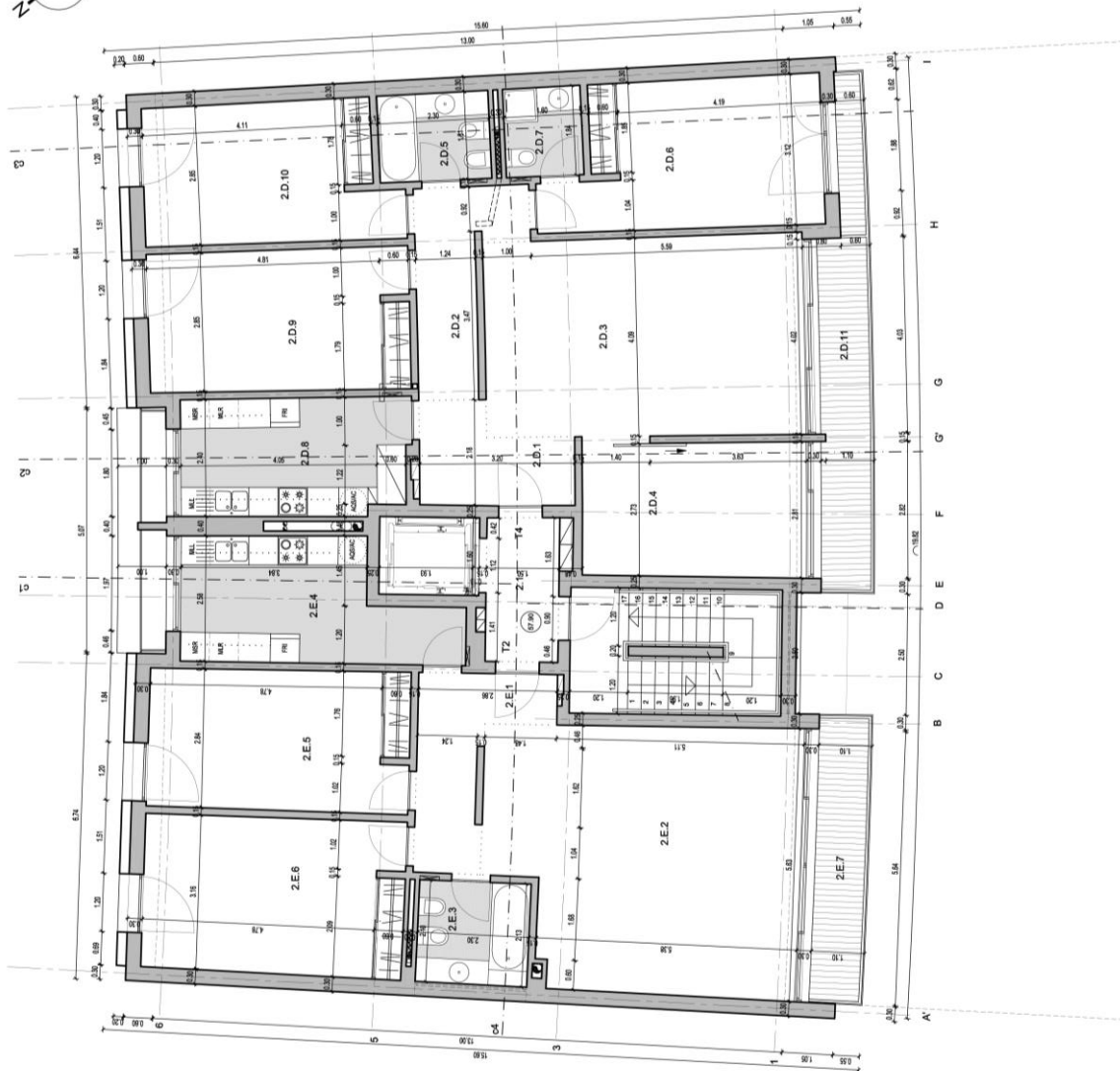
Apresentação do Caso de Estudo

Anexo C.1 – Planta de Localização (sem escala)



Figura C.1 – Planta de localização do Lote 7

Anexo C.2 – Planta do Piso 2 (sem escala)



LEGENDA:

- TUBO DE QUEDA DE ÁGUAS RESIDUAIS NEGRAS
- TUBO DE QUEDA DE ÁGUAS RESIDUAIS BRANCAS
- TUBO DE QUEDA DE ÁGUAS RESIDUAIS PLUVIAIS
- TUBO DE VENTILAÇÃO E/OU DESENFUMAGEM
- CONDUITA DE EXAUSTÃO DE FUMOS E/OU GORDURAS
- ▭ CAIXA DE PEX
- ▭ ZONA TÉCNICA
- COTA ALTIMÉTRICA DE LIMPO
- COTA ALTIMÉTRICA DE PAVIMENTO EXTERIOR
- VENTILAÇÃO NATURAL/NATURAL
- ALINHAMENTO DE PERFIL/CORTE
- 1 --- ALINHAMENTO ESTRUTURAL

PISO 2 | LOTE 7

ESPAÇO	DESIGNAÇÃO	ÁREA
2.1	HALL DOS FOGOS	4.46 m ²
2.D.1	HALL	5.55 m ²
2.D.2	CIRCULAÇÃO	6.73 m ²
2.D.3	SALA	26.95 m ²
2.D.4	ESCRITÓRIO	12.95 m ²
2.D.5	I.S.	4.15 m ²
2.D.6	SUITE	14.72 m ²
2.D.7	I.S.	2.93 m ²
2.D.8	COZINHA	11.27 m ²
2.D.9	QUARTO	14.48 m ²
2.D.10	QUARTO	13.20 m ²
2.D.11	VARANDA	10.15 m ²
2.E.1	HALL / CIRCULAÇÃO	7.03 m ²
2.E.2	SALA	33.32 m ²
2.E.3	I.S.	4.86 m ²
2.E.4	COZINHA	12.49 m ²
2.E.5	QUARTO	14.44 m ²
2.E.6	QUARTO	15.98 m ²
2.E.7	VARANDA	6.56 m ²

Figura C.2 – Planta do piso 2 do Lote 7

Anexo C.3 – Alçado Norte (sem escala)

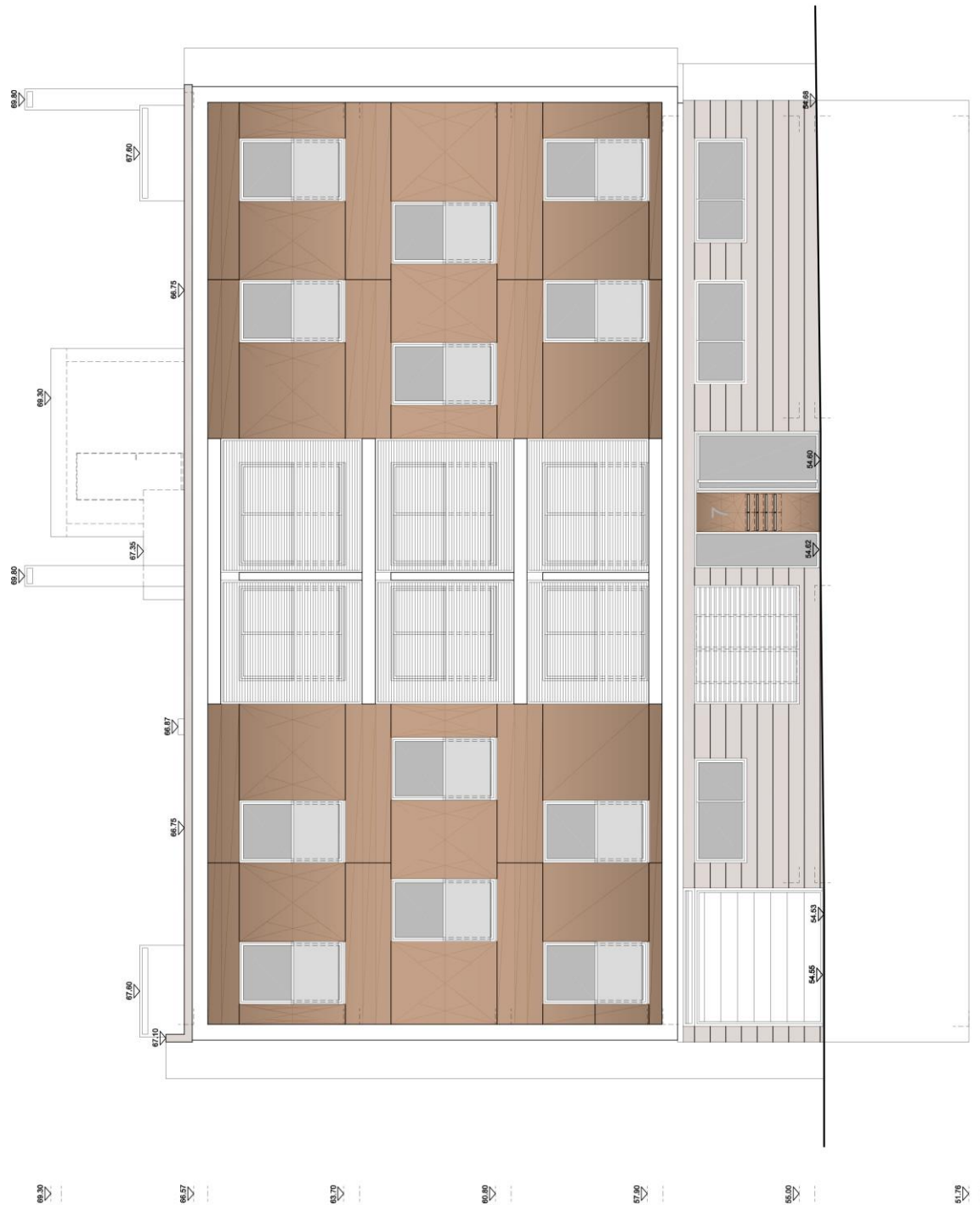


Figura C.3 – Alçado norte do Lote 7

Anexo C.4 – Alçado Sul (sem escala)



Figura C.4 – Alçado sul do Lote 7

Anexo C.5 – Alçado Nascente (sem escala)

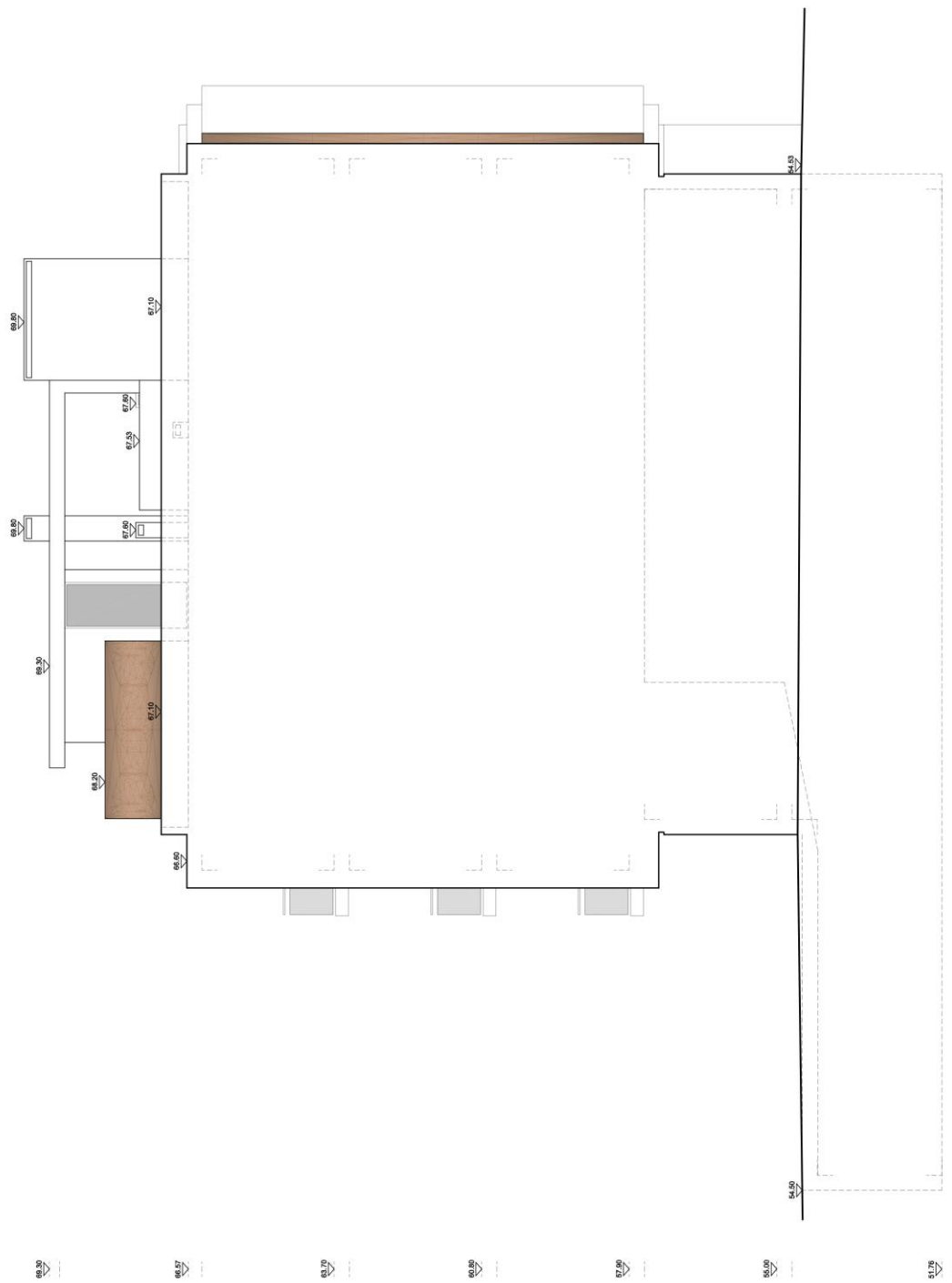


Figura C.5 – Alçado nascente do Lote 7

Anexo C.6 – Alçado Poente (sem escala)

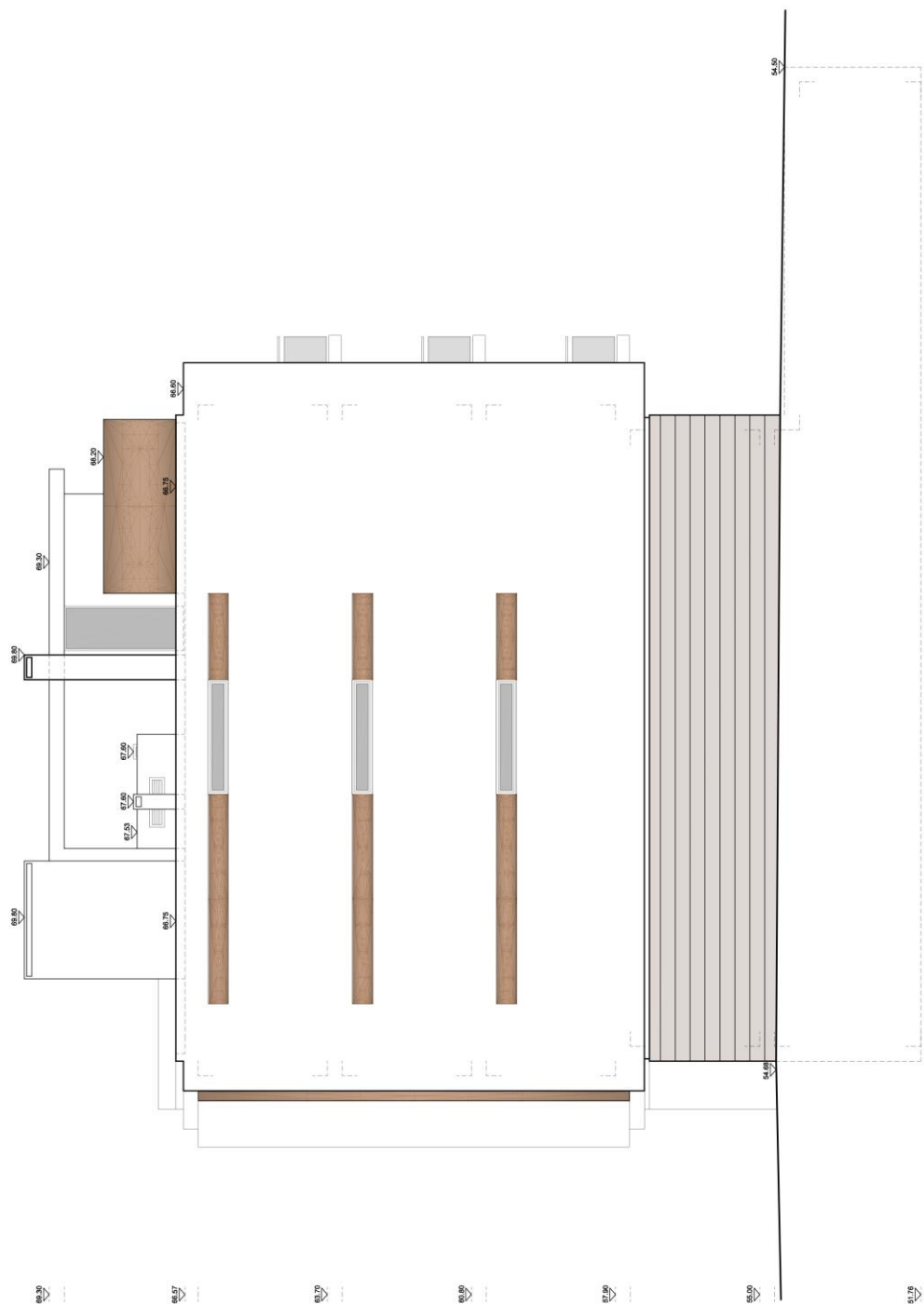


Figura C.6 – Alçado poente do Lote 7

Anexo D

Fases de Aplicação do Modelo ao Caso de Estudo

Anexo D.1 – Fase 1 – Localização do Edifício



Figura D.1 – Localização do edifício e ambiente envolvente

Anexo D.2 – Fase 2 – Forma e Orientação

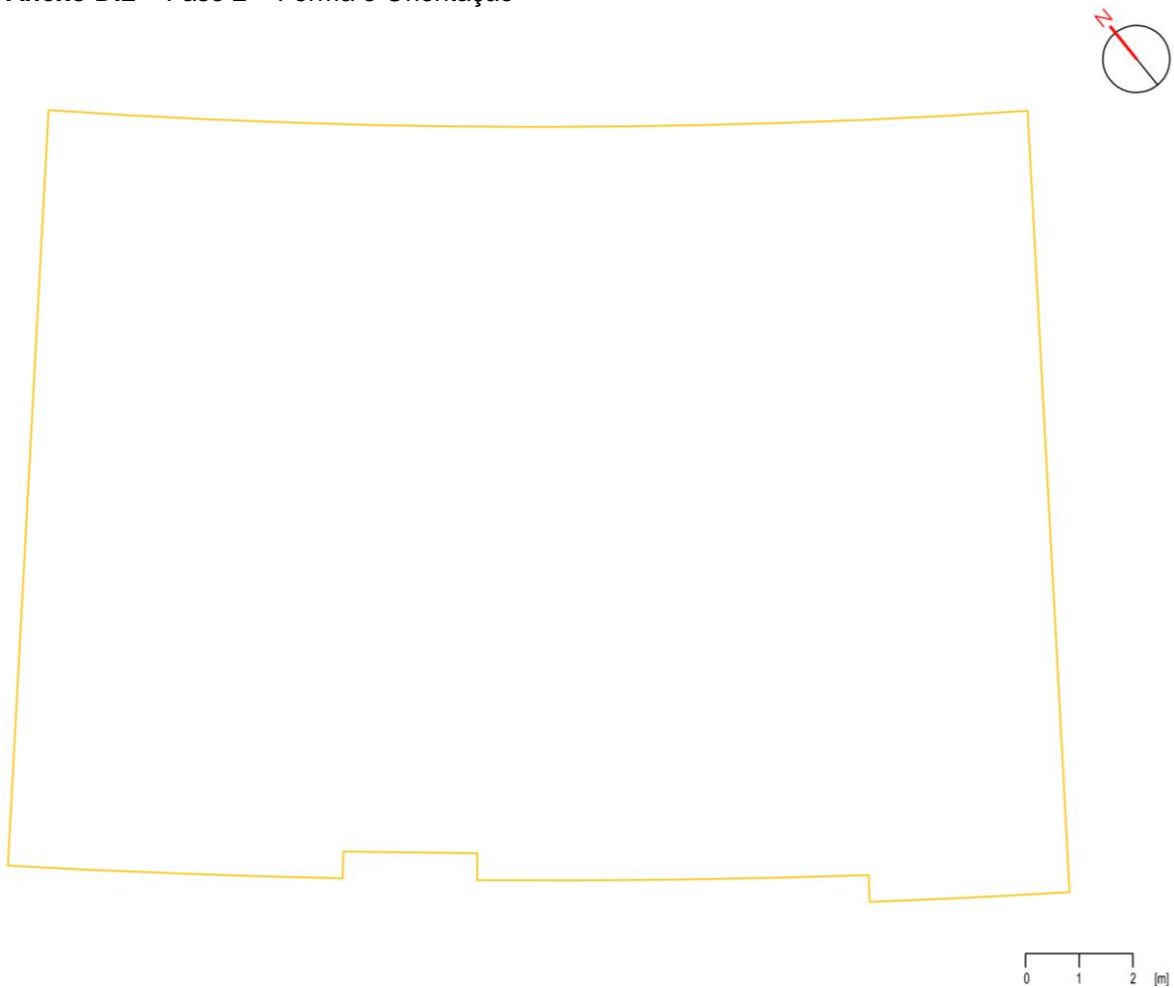


Figura D.2 – Forma e orientação do edifício (planta do piso 2)

Anexo D.3 – Fase 3 – Espaços Interiores

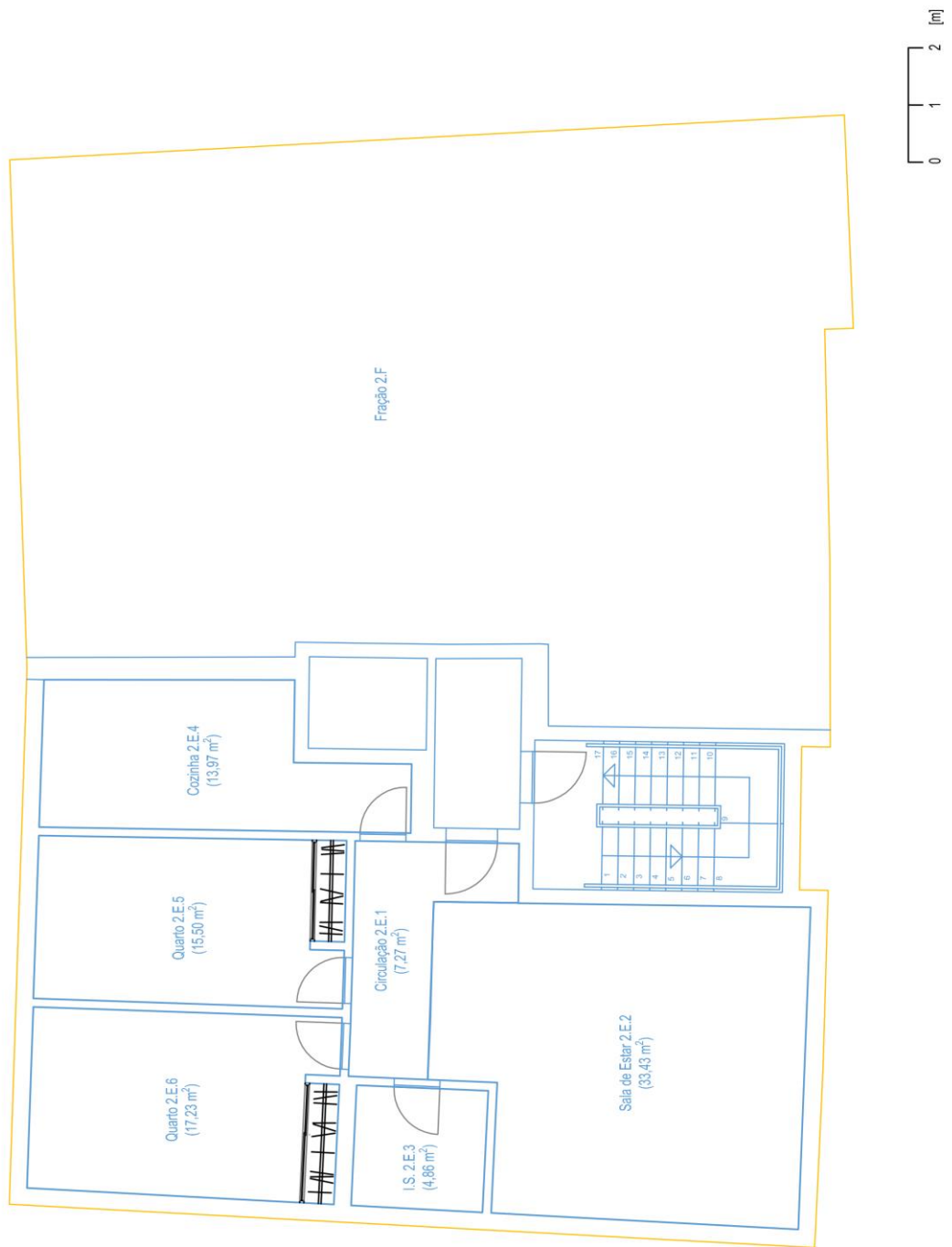


Figura D.3 – Distribuição dos compartimentos interiores da Fração 2.E.

Anexo D.4 – Fase 4 – Vãos Envidraçados e Proteções Solares

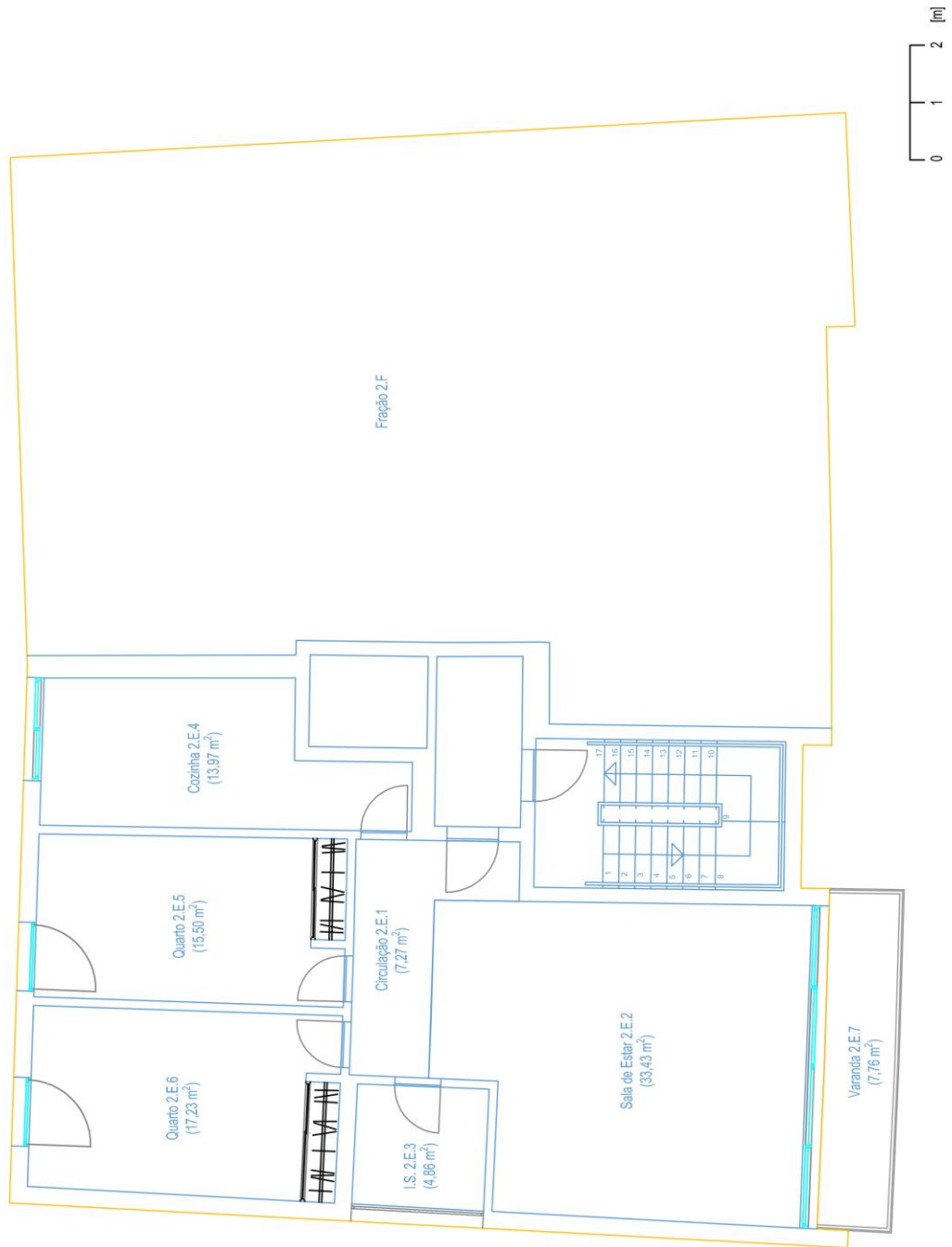


Figura D.4 – Distribuição dos vãos envidraçados e proteções solares incluídas no corpo do edifício

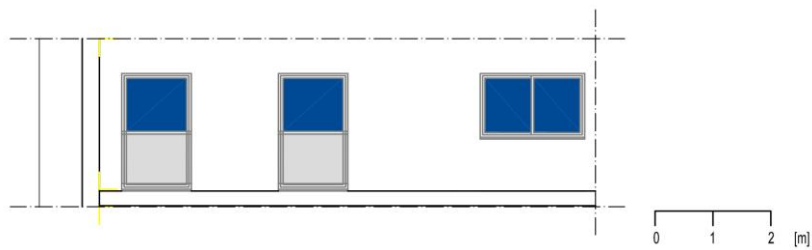


Figura D.5 – Secção do alçado norte (Fração 2.E.)

Anexo D.5 – Fase 5 – Isolamento Térmico

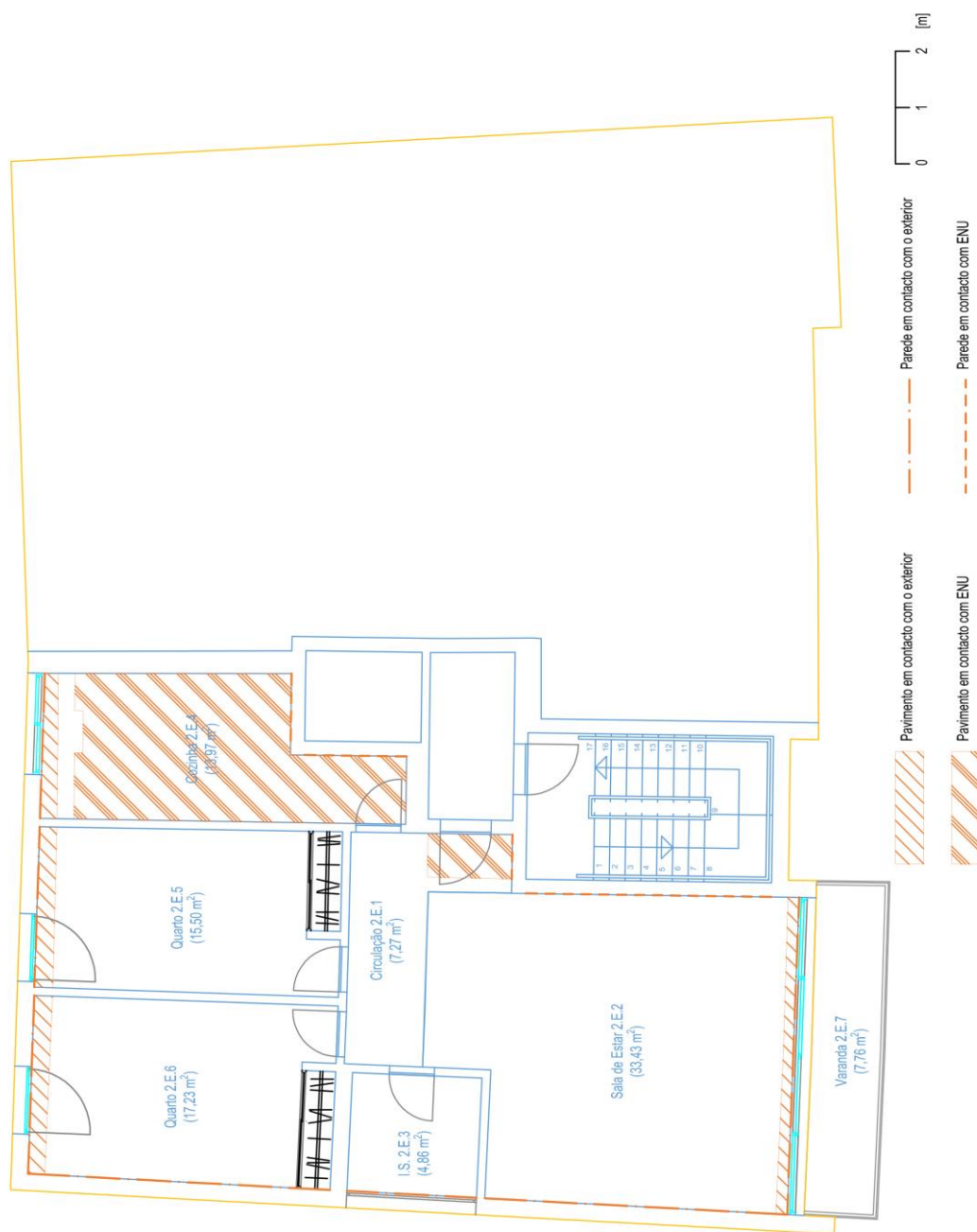
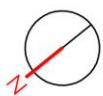


Figura D.6 – Elementos opacos em contacto com o espaço exterior e ENU

Tabela D.1 – Soluções construtivas aplicadas à envolvente da fração autónoma em estudo

Material	e (m)	λ (W/(m.°C))	R (m ² .°C/W)	U (W/(m ² .°C))
Elemento opaco vertical corrente em contacto com o exterior				
Reboco exterior	0,03	1,3	0,02	0,40
Sistema CIN-K	0,06	-	1,76	
Tijolo 30x22x20	0,22	-	0,52	
Estuque interior	0,02	1,3	0,02	

Tabela D.1 – Soluções construtivas aplicadas à envolvente da fração autónoma em estudo

Material	e (m)	λ (W/(m.°C))	R (m ² .°C/W)	U (W/(m ² .°C))
Elemento opaco vertical PTP em contacto com o exterior				
Reboco exterior	0,03	1,3	0,02	0,46
Sistema CIN-K	0,06	-	1,76	
Tijolo 30x20x4	0,04	-	0,10	
Betão armado	0,25	2,0	0,125	
Estuque interior	0,02	1,3	0,02	
Elemento opaco horizontal corrente em contacto com o exterior (descendente)				
Reboco exterior	0,03	1,3	0,02	0,40
Sistema CIN-K	0,06	-	1,76	
Betão armado	0,20	2,0	0,10	
Camada de forma	0,07	0,7	0,10	
Lâmina de ICB	0,01	0,045	0,22	
Pavimento laminado	0,01	0,11	0,09	0,45
ou Revestimento cerâmico	0,02	1,3	0,02	
Elemento opaco vertical corrente em contacto com espaço não útil – caixa de escadas				
Reboco exterior	0,02	1,3	0,02	0,54
Sistema CIN-K	0,04	-	1,18	
Tijolo 30x20x15	0,15	-	0,39	
Estuque interior	0,02	1,3	0,02	
Elemento opaco vertical PTP em contacto com espaço não útil – caixa de escadas				
Reboco exterior	0,02	1,3	0,02	0,63
Sistema CIN-K	0,04	-	1,18	
Betão armado	0,20	2,0	0,10	
Estuque interior	0,02	1,3	0,02	
Elemento opaco vertical corrente em contacto com espaço não útil – caixa de elevador				
Betão armado	0,20	2,0	0,10	1,75
Tijolo 30x20x7	0,07	-	0,19	
Reboco interior	0,02	1,3	0,02	
Elemento opaco horizontal corrente em contacto com espaço não útil – átrio				
Reboco exterior	0,02	1,3	0,02	0,49
Sistema CIN-K	0,04	-	1,18	
Betão armado	0,20	2,0	0,10	
Camada de forma	0,07	0,7	0,10	
Lâmina de ICB	0,01	0,045	0,22	
Pavimento laminado	0,01	0,11	0,09	0,57
ou Revestimento cerâmico	0,02	1,3	0,02	
Vãos envidraçados				
Vidro duplo incolor de baixa emissividade (6+16+8 mm)	-	-	-	2,30

Anexo D.6. – Fase 6 – Massa térmica e Inércia Térmica**Tabela D.2 – Soluções construtivas aplicadas aos elementos opacos interiores**

Material	e (m)
Elemento opaco vertical em contacto com outra fração	
Reboco interior	0,02
Tijolo 30x20x11	0,11
Caixa-de-ar	0,03
Tijolo 30x20x11	0,11
Reboco interior	0,02
Elemento opaco vertical de compartimentação	
Reboco interior	0,02
Tijolo 30x20x11	0,11
Reboco interior	0,02
Elemento opaco horizontal em contacto com outra fração (cozinha)	
Revestimento cerâmico	0,02
Camada de forma	0,07
Betão armado	0,20
Caixa-de-ar	0,20
Gesso cartonado	0,03
Elemento opaco horizontal em contacto com outra fração	
Estuque interior	0,02
Betão armado	0,20
Camada de forma	0,07
Lâmina de ICB	0,01
Pavimento laminado	0,01
ou Revestimento cerâmico	0,02

Anexo D.7 – Fase 7 – Ventilação Natural

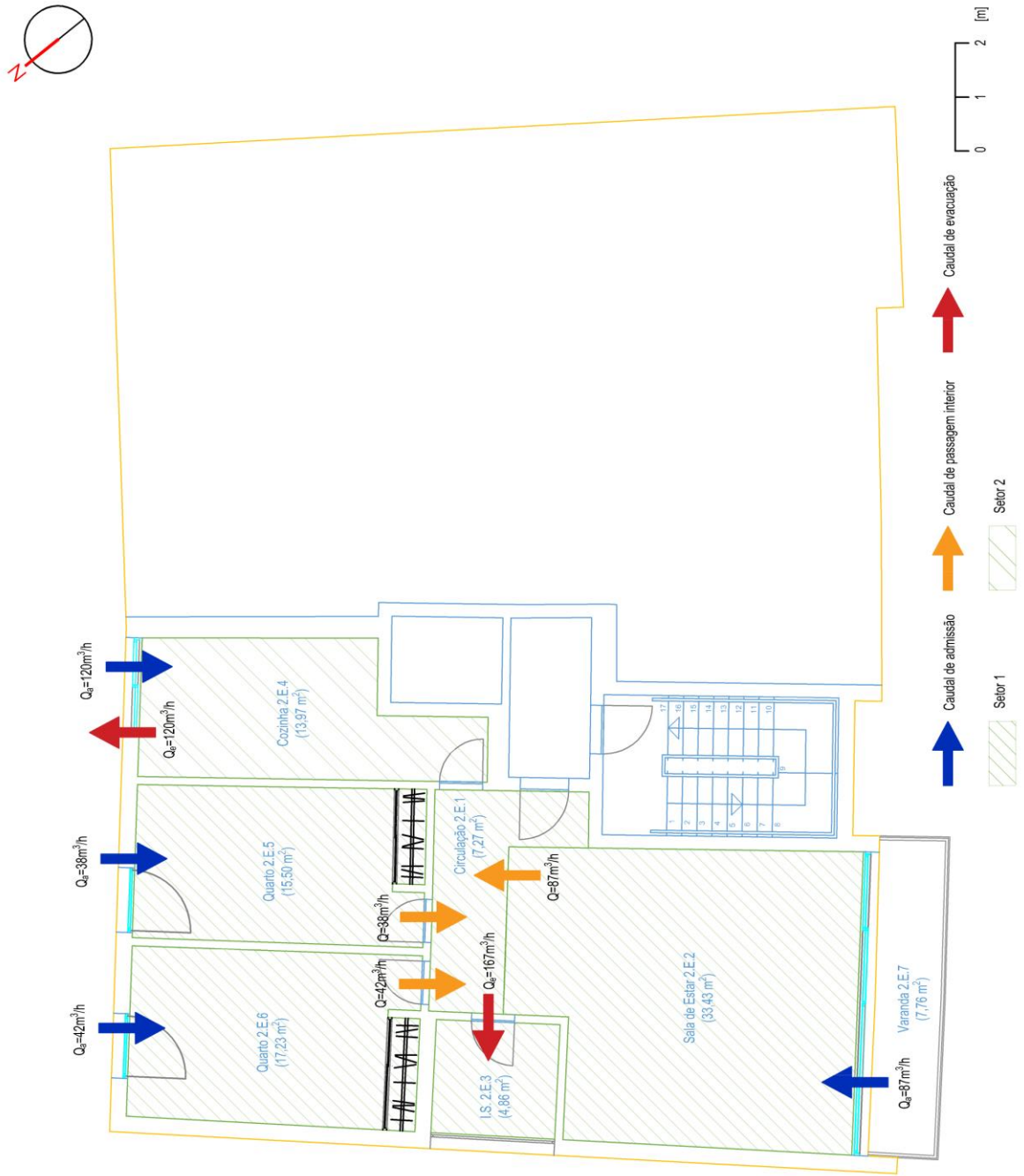


Figura D.7 – Caudais de admissão, de passagem interior e de evacuação por setor na Fração 2.E.

Anexo E

Ficha do Modelo aplicada ao Caso de Estudo

Localização								
Concelho			Barreiro					
Latitude (°)			38,62					
Longitude (°)			-9,03					
Altitude (m)			54,62					
Distância à costa (km)			Superior a 5					
Ambiente envolvente			Periferia de zona urbana					
Caraterização Macroclimática								
Zonamento climático			Península de Setúbal					
Zonas climáticas			I1 / V3					
Duração da estação de aquecimento (meses)			4,7					
Duração da estação de arrefecimento (meses)			4					
$\theta_{ext,i}$ (°C)			10,67					
$\theta_{ext,v}$ (°C)			22,76					
GD (°C)			1056,43					
G_{Sul} (kWh/m ² .mês)			145					
I_{sol} (kWh/m ² acumulados de junho a setembro)								
H	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
845	225	365	505	495	410	495	505	365
Caraterização do vento na estação de aquecimento								
Orientação mais frequente			NW, NE e SW					
Velocidades mais intensas (km/h)			12,7 (NW)					
Caraterização do vento na estação de arrefecimento								
Orientação mais frequente			NW					
Velocidades mais intensas (km/h)			14,9 (NW)					
Caraterização Microclimática								
Edifícios e outros obstáculos construídos na envolvente								
Classe de proteção ao vento			Desprotegido	Normal	Protegido			
Vertente norte			-	X (1,6)	-			
Vertente sul			-	X (2,3)	-			
Vertente este			-	-	-			
Vertente oeste			X	-	-			
Sombreamento			Orientação dos Obstáculo					
Vertente norte			N a E					
Vertente sul			SE a W					
Vertente este			Não recebe radiação					
Vertente oeste			Sem influência					

Localização e Clima	Barreiras vegetais existentes			
	Influência na intensidade do vento		Limite até 12,5h	
	Norte		20 m da localização – 9 m de altura, com copa estreita e pouco densa, folhagem caduca	
	Sul		10 m da localização – 6 m de altura, com copa larga e densa, folhagem perene	
	Este		Sem influência	
	Oeste		30 m da localização – 9 m de altura, com copa estreita e pouco densa, folhagem caduca	
	Influência na radiação solar incidente			
	Norte		Sem influência	
	Sul		10 m da localização – 6 m de altura, com copa larga e densa, folhagem perene	
	Este		Sem influência	
	Oeste		Sem influência	
Massas de água		Sem influência		
Forma e Orientação	Forma			
	Largura do edifício (m)		18,22 (NE) / 19,81 (SW)	
	Profundidade do edifício (m)		14,64 (NW) / 14,64 (SE)	
	Nº de pisos acima do solo		4	
	Nº de pisos abaixo do solo		1	
	Altura do edifício (m)		12	
	A_{env} (m ²)		807,72	
	V_{edif} (m ³)		3340,56	
	Fator de forma $\left(\frac{A_{env}}{V_{edif}} < 0,5\right)$		0,24	
	Orientação			
Orientação do edifício		38° de sul para oeste		
Espaços Interiores	Orientação / Localização			
	Fração 2.E.			
	Tipologia		T2	
	Situação da fração face a outras frações		Entre pisos	
	Nº de pisos da fração		1	
	Pé direito (m)		2,57	
	Área útil de pavimento (m ²)		92,26	
	Compartimento		Orientação	A_{pav} (m ²)
	Sala de estar 2.E.2		SW - NW	33,43
	Quarto 2.E.5		NE	15,50
	Quarto 2.E.6		NW - NE	17,23
Cozinha 2.E.4		NE	13,97	
Instalação sanitária 2.E.3		NW	4,86	
Espaço de circulação 2.E.1		Interior	7,27	

Localização e Dimensão dos Vãos Envidraçados								
Área / Orientação / Tipo								
Compartimento	Orientação	X_j	A_w (m ²)	F_g	$g_{\perp,vi}$	g_i	n	
Sala de estar 2.E.2	SW	0,84	13,04	0,70	0,75	0,68	1	
	NW	0,33	0	-	-	-	-	
Quarto 2.E.5	NE	0,33	2,40	0,70	0,75	0,68	2	
Quarto 2.E.6	NE	0,33	2,40	0,70	0,75	0,68	3	
	NW	0,33	0	-	-	-	-	
Cozinha 2.E.4	NE	0,33	2,00	0,70	0,75	0,68	4	
I.S. 2.E.3	NW	0,33	0,92	0,70	0,75	0,68	5	
Ganho Térmico								
n	$A_{s,i}$ (m ²)	Estação de Aquecimento				U_{wdn} (W/(m ² ·°C))	$Q_{sol,i}$ (kWh)	$Q_{tr,i}$ (kWh)
		F_h	F_o	F_f	F_s			
1	6,16	0,92	0,63	0,99	0,57	2,30	2010,48	760,43
2	1,13	0,91	0,90		0,82	2,30	208,87	139,96
3	1,13	0,91	0,90		0,82	2,30	208,87	139,96
4	0,95	0,93	0,90		0,84	2,30	177,88	116,63
5	0,43	1,00	0,90		0,90	2,30	87,99	53,65
Localização e Dimensão dos Dispositivos de Proteção Solar								
Ganho Térmico								
n	F_{mv}	g_{Tvc}	g_T	$F_{w,v}$	g_{TP}	g_v	A_{s,vn_j} (m ²)	
1	0,70	0,04	0,05	0,85	0,64	0,23	2,06	
2	0,40	0,04	0,05	0,85	0,64	0,40	0,68	
3	0,40	0,04	0,05	0,85	0,64	0,40	0,68	
4	0,40	0,04	0,05	0,85	0,64	0,40	0,56	
5	0,40	0,04	0,05	0,85	0,64	0,40	0,26	
n	Estação de Arrefecimento				I_{sol} (kWh/m ²)	$Q_{sol,v}$ (kWh)		
	F_h	F_o	F_f	F_s				
1	1,00	0,57	0,96	0,55	495	558,10		
2	1,00	0,90		0,90	365	222,13		
3	1,00	0,90		0,90	365	222,13		
4	1,00	0,90		0,90	365	185,11		
5	1,00	0,90		0,90	365	85,15		
Verificação de condições								
Compartimento	A_w (m ²)	A_w/A_{pav} (> 5%)	$15\% \cdot A_{pav}$ (m ²)	$g_{Tmáx}$	$g_T \cdot F_o \cdot F_f$	Verifica		
Sala de estar 2.E.2	13,04	32,3%	6,05	0,50	0,07	Sim		
I.S. 2.E.3	0,92	18,9%	0,73	0,50	0,06	Sim		

Vãos Envidraçados e Dispositivos de Proteção Solar

Caraterização/Avaliação dos Ambientes de Fronteira							
Espaços não úteis							
Ambiente	A_i (m ²)	A_u (m ²)	A_i/A_u	V_{enu} (m ³)	Tipo	b_{tr}	Classificação
Caixa do elevador	17,40	4,95	3,52	50,55	f	0,5	Requisitos de interior
Átrio	37,82	7,80	4,84	55,11	f	0,4	Requisitos de interior
Caixa de escadas	84,86	51,53	1,65	187,85	f	0,7	Requisitos de interior
Garagem	160,05	136,62	1,17	898,54	F	1,0	Requisitos de exterior
Pontes Térmicas Lineares							
Tipo de ligação						Análise	
Fachada com pavimentos térreos						Existente	
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido						Existente	
Fachada com cobertura						Existente	
Fachada com pavimento de nível intermédio						Existente	
Fachada com varanda						Existente	
Fachada com caixilharia						Existente	
Duas paredes verticais em ângulo saliente						Existente	
Zona de caixa de estore						Existente	
Outros ambientes							
Tipo de ambiente				Posição do elemento		Análise	
Exterior				Vertical		Existente	
				Horizontal		Existente	
Outros edifícios				Vertical		Existente	
				Horizontal		Inexistente	
Terreno				Vertical		Inexistente	
				Horizontal		Inexistente	

Isolamento Térmico

Soluções de Isolamento Térmico						
Fração 2.E.						
Zona corrente da envolvente						
Elemento		$U_{ref} U_{máx}$ (W/(m ² .°C))		U (W/(m ² .°C))		
Opaco vertical corrente em contacto com o exterior		0,40 1,75		0,40		
Opaco vertical PTP em contacto com o exterior		0,40 1,75		0,46		
Opaco horizontal corrente em contacto com o exterior (descendente)		0,35 1,25		0,40/0,45		
Opaco vertical corrente em contacto com espaço não útil com $b_{tr} \leq 0,7$ (caixa de escadas)		0,80 2,00		0,54		
Opaco vertical corrente em contacto com espaço não útil com $b_{tr} \leq 0,7$ (caixa de elevador)		0,80 2,00		1,75		
Opaco vertical PTP em contacto com espaço não útil com $b_{tr} \leq 0,7$ (caixa de escadas)		0,80 2,00		0,63		
Opaco horizontal corrente em contacto com espaço não útil com $b_{tr} \leq 0,7$ (átio)		0,70 1,65		0,49/0,57		
Vãos envidraçados		2,80 0,00		2,30		
Pontes Térmicas Lineares						
Ligação		ψ_{ref} (W/(m.°C))		ψ (W/(m.°C))		
Fachada com pavimento sobre o exterior ou ENU		0,50		0,55		
Fachada com varanda		0,50		0,60		
Fachada com caixilharia		0,20		0,10		
Duas paredes verticais em ângulo saliente		0,40		0,40		
Zona de caixa de estore		0,20		0,30		
Transferências de Calor por Transmissão						
Fração						
Estação de Aquecimento						
H_{ext} (W/°C)	H_{enu} (W/°C)	H_{adj} (W/°C)	H_{ecs} (W/°C)	$H_{tr,i}$ (W/°C)	$Q_{tr,i}$ (kWh)	
(20)	(21)	(21)	(22)	(18)	(5)	
Estação de Arrefecimento						
H_{ext} (W/°C)	H_{enu} (W/°C)	H_{ecs} (W/°C)	$H_{tr,v}$ (W/°C)	$Q_{tr,v}$ (kWh)		
(20)	(21)	(22)	(19)	(17)		

Determinação da Massa Térmica					
Fração 2.E.					
Tipo	ID.Elemento	IT	CA	$M_{s,i}$ (kg/m ²)	
EL1	1.Parede exterior (zona corrente)	Sim	Não	150	
EL1	2.Parede exterior (PTP)	Sim	Não	150	
EL1	3.Pavimento exterior	Sim	Não	150	
EL1	4.Parede interior em contacto com ENU (caixa de escada) (zona corrente)	Sim	Não	150	
EL1	5.Parede interior em contacto com ENU (caixa de escada) (PTP)	Sim	Não	150	
EL1	6.Parede interior em contacto com ENU (caixa de elevador)	Não	Não	150	
EL1	7.Pavimento interior em contacto com ENU (átrio)	Sim	Não	150	
EL1	8.Parede interior em contacto com outra fração autónoma	Não	Sim	120	
EL1	9.Pavimento interior em contacto com outra fração autónoma (zona corrente)	Não	Não	150	
EL1	10.Pavimento interior em contacto com outra fração autónoma (teto falso)	Não	Sim	20	
EL3	11.Paredes interiores de compartimentação	Não	Não	140	
Determinação da Inércia Térmica					
Fração 2.E.					
ID.Revestimento Interior				R (m ² .°C/W)	
a.Estuque (0,02 m)				0,02	
b.Pavimento laminado (0,01 m)				0,09	
c.Cerâmica (0,02 m)				0,02	
d.Gesso cartonado e caixa de ar (0,20 m)				0,18	
Elemento	r	S_i (m ²)	$M_{s,i} \cdot r \cdot S_i$ (kg)	A_p (m ²)	I_t (kg/m ²)
1.a.	1,0	37,41	5611,50	88,12	502,10 Classe Forte
2.a.	1,0	8,90	1335,90		
3.b.	1,0	1,89	283,50		
3.c.	1,0	0,67	100,95		
4.a.	1,0	11,65	1747,50		
5.a	1,0	1,68	251,34		
6.c.	1,0	7,18	1077,00		
7.b.	1,0	1,18	176,55		
7.c.	1,0	12,49	1873,50		
8.c.	1,0	10,52	1262,30		
9.b	1,0	67,67	10150,50		
9.c	1,0	4,86	729,00		
9.a	1,0	75,64	11346,00		
10.d.	0,5	13,97	139,70		
11.a	1,0	58,28	8159,42		
11.c	1,0				

Caudal-tipo						
Fração 2.E.						
Tipo	Compartimento	Volume (m ³)	Caudal-tipo (m ³ /h)	Sentido		
Principal	Sala de estar 2.E.2	86,63	87	Admissão		
Principal	Quarto 2.E.5	37,54	38	Admissão		
Principal	Quarto 2.E.6	41,55	42	Admissão		
Serviço	Cozinha 2.E.4	29,98	120	Evacuação		
Serviço	Instalação sanitária 2.E.3	12,64	51	Evacuação		
Esquema de Ventilação						
Compartimento		Caudal-tipo total (m ³ /h)		Sentido		
Setor 1						
Sala de estar 2.E.2		167		Admissão		
Quarto 2.E.5						
Quarto 2.E.6						
Instalação sanitária 2.E.3		51		Evacuação		
Setor 2						
Cozinha 2.E.4		120		Evacuação		
Caudal de Ar de Ventilação e Aberturas						
Fração 2.E.						
Compartimento	Caudal total (m ³ /h)	Renovações de ar (h ⁻¹)	Caudal de admissão (m ³ /h)	Caudal de evacuação (m ³ /h)		
Setor 1						
Sala de estar 2.E.2	167	1,00	87	-		
Quarto 2.E.5		1,00	38	-		
Quarto 2.E.6		1,00	42	-		
Instalação sanitária 2.E.3		13,10	-	167		
Setor 2						
Cozinha 2.E.4	120	4	120	120		
Aberturas						
Compartimento	Admissão		Passagem		Evacuação	
	ΔP (Pa)	A_u (cm ²)	ΔP (Pa)	A_u (cm ²)	ΔP (Pa)	A_u (cm ²)
Sala de estar 2.E.2	10	10,07	-	-	-	-
Quarto 2.E.5	10	4,40	1	13,91	-	-
Quarto 2.E.6	10	4,86	1	15,37	-	-
Instalação sanitária 2.E.3	-	-	3	35,29	3	35,29
Cozinha 2.E.4	10	13,89	-	-	3	25,36
Taxa de Renovação do Ar						
$R_{ph,i}$ (h ⁻¹)		$R_{ph,v}$ (h ⁻¹)		$R_{ph,i ref}$ (h ⁻¹)		
0,93		0,93		0,60		

Transferência de Calor por Ventilação					
$H_{ve,i}$ (W/°C)	$Q_{ve,i}$ (kWh)	$Q_{ve,i,ref}$ (kWh)	$Q_{ve,v}$ (kWh)		
75,13	1904,77	1190,48	492,31		
Cor	Revestimentos Exteriores				
	Orientação da Fachada	Cor	Classe	α	
	Sudoeste SW	Branco	Clara	0,4	
	Noroeste NW	Branco	Clara	0,4	
	Nordeste NE	Branco	Clara	0,4	
	Área Efetiva Coletora				
	Elemento / Orientação	α	U (W/(m ² .°C))	A_{op} (m ²)	$A_{s,v}$ (m ²)
	Opaco vertical corrente / SW	0,4	0,40	0,28	0,00
	Opaco vertical PTP / SW	0,4	0,46	1,41	0,01
	Opaco vertical corrente / NW	0,4	0,40	26,51	0,17
	Opaco vertical PTP / NW	0,4	0,46	5,91	0,04
Opaco vertical corrente / NE	0,4	0,40	10,62	0,01	
Opaco vertical PTP / NE	0,4	0,46	1,58	0,01	

Anexo F

Resultados da Aplicação do Modelo

Anexo F.1 – Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético (REH) – Projeto Existente



FICHA N.º 1 REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH) (nos termos da alínea d) do n.º 1.1)

Câmara Municipal de Barreiro

Edifício

Empreendimento: _____ Nº de fracções 1

Morada: _____

Freguesia: SANTO ANTONIO DA CHARNECA Concelho: Barreiro

Tipo de intervenção

Edifício Novo Grande intervenção
(a preencher com base na informação do projeto de comportamento térmico)

Caracterização:

Fração	Área interior útil de pavimento (m ²)	Pé direito médio ponderado (m)	Tipologia
2.E.	90,67	2,57	T2

Resumo de cálculo:

Fração	Tx. ren. (RPH)	Nic (kWh/(m ² .ano))	Ni (kWh/(m ² .ano))	Nvc (kWh/(m ² .ano))	Nv (kWh/(m ² .ano))	Qa (kWh/ano)	Ntc (kWh _{EP} /(m ² .ano))	Nt (kWh _{EP} /(m ² .ano))	E _{ren,p} (kWh/ano)(*)	E _{ren,ext} (kWh/ano)(**)
2.E.	0,87	19,52	35,67	14,63	16,70	1783	113,62	155,82	0	0

(*) correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.

(**) correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em E_{ren,p}.

Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico

Nome: 0

Inscrito na: 0 Número de inscrição: 0

Assinatura _____

Folha de Cálculo A

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

A.1 - ENVOLVENTE EXTERIOR

PAREDES EXTERIORES	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C
PDE1	0,28	0,41	0,11
PDE1	26,51	0,41	10,87
PDE1	10,62	0,41	4,35
PTPPDE1	1,41	0,47	0,66
PTPPDE1	5,91	0,47	2,78
PTPPDE1	1,58	0,47	0,74
-	-	-	-
TOTAL			19,52

PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O EXTERIOR	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C
PVE1	1,89	0,54	1,02
-	-	-	-
TOTAL			1,02

VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C
1 (VE1)	13,04	2,50	32,60
2 (VE2)	2,40	2,50	6,00
3 (VE3)	2,40	2,50	6,00
4 (VE4)	3,60	3,30	11,88
5 (VE5)	0,92	3,30	3,04
-	-	-	-
TOTAL			59,52

PONTES TÉRMICAS LINEARES	Comp. B m	ψ W/m.°C	ψ.B W/°C
Fachada com varanda	16,37	0,60	9,82
Fach. com pavimento sobre o exterior ou ENU	18,60	0,55	10,23
Duas paredes verticais em ângulo saliente	5,00	0,40	2,00
Fachada com caixilharia	16,60	0,10	1,66
Zona da caixa de estores	8,07	0,30	2,42
-	-	-	-
TOTAL			26,13

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior H_{est} 106,19 W/°C

A.2 - ENVOLVENTE INTERIOR

PAREDES EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _{tr}	U.A.b _{tr} W/°C
PDI1	11,65	1,22	0,70	9,95
PTPPDI1	1,68	2,50	0,70	2,94
PDI2	7,18	2,60	0,50	9,33
-	-	-	-	-
TOTAL				22,22

PAVIMENTOS SOBRE ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _{tr}	U.A.b _{tr} W/°C
PVI1	1,20	1,15	0,40	0,55
PVI2	12,50	1,72	0,40	8,60
-	-	-	-	-
TOTAL				9,15

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{esc} W/°C

A.4 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior $H_{\text{enu}} + H_{\text{adj}}$ W/°C

Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{esc} W/°C

Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

A.5 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{enu} W/°C

Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{esc} W/°C

Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

A.6 - ENVOLVENTE EXTERIOR

PAREDES EXTERIORES	Área A m ²	U_{ref} W/m ² .°C	U.A W/°C
<i>correção quando a área de envidraçados excede 20% da área útil</i>	4,23	0,50	2,11
PDE1	0,28	0,50	0,14
PDE1	26,51	0,50	13,26
PDE1	10,62	0,50	5,31
PTPPDE1	1,41	0,50	0,71
PTPPDE1	5,91	0,50	2,96
PTPPDE1	1,58	0,50	0,79
-	-	-	-
		TOTAL	25,27

PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O EXTERIOR	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C
PVE1	1,89	0,40	0,76
-	-	-	-
		TOTAL	0,76

VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C
1 (VE1)	10,58	2,90	30,67
2 (VE2)	1,95	2,90	5,64
3 (VE3)	1,95	2,90	5,64
4 (VE4)	2,92	2,90	8,47
5 (VE5)	0,75	2,90	2,16
-	-	-	-
		TOTAL	52,59

PONTES TÉRMICAS LINEARES	Comp. B m	ψ W/m. $^{\circ}$ C	$\psi \cdot B$ W/ $^{\circ}$ C
Fachada com varanda	16,37	0,50	8,18
Fach. com pavimento sobre o exterior ou ENU	18,60	0,50	9,30
Duas paredes verticais em ângulo saliente	5,00	0,40	2,00
Fachada com caixilharia	16,60	0,20	3,32
Zona da caixa de estores	8,07	0,20	1,61
	-	-	-
		TOTAL	24,42

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior H_{ext} 103,03 W/ $^{\circ}$ C

A.7 - ENVOLVENTE INTERIOR

PAREDES EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m 2	U W/m 2 . $^{\circ}$ C	b_{tr}	U.A. b_{tr} W/ $^{\circ}$ C
PDI1	11,65	1,00	0,70	8,16
PTPPDI1	1,68	1,00	0,70	1,18
PDI2	7,18	1,00	0,50	3,59
	-	-	-	-
			TOTAL	12,92

PAVIMENTOS SOBRE ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m 2	U W/m 2 . $^{\circ}$ C	b_{tr}	U.A. b_{tr} W/ $^{\circ}$ C
PVI1	1,20	0,80	0,40	0,38
PVI2	12,50	0,80	0,40	4,00
	-	-	-	-
			TOTAL	4,38

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo $H_{ecs REF}$ 0,00 W/ $^{\circ}$ C

A.9 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior $H_{ext REF}$ 103,03 W/ $^{\circ}$ C

+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior $H_{enu REF} + H_{adj REF}$ 17,31 W/ $^{\circ}$ C

+

Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo $H_{ecs REF}$ 0,00 W/ $^{\circ}$ C

=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr REF}$ 120,34 W/ $^{\circ}$ C

A.10 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior $H_{ext REF}$ 103,03 W/ $^{\circ}$ C

+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior $H_{enu REF}$ 17,31 W/ $^{\circ}$ C

+

Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo $H_{ecs REF}$ 0,00 W/ $^{\circ}$ C

=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr REF}$ 120,34 W/ $^{\circ}$ C

Folha de Cálculo B

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO

B.1 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned} & 1 \\ & - \\ \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,i} & \boxed{0} \\ & \times \\ \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} & \boxed{0} \text{ m}^3/\text{h} \\ & \div \\ R_{bh,i} \cdot A_p \cdot P_d & \boxed{221,58} \text{ m}^3/\text{h} \\ & = \\ \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} & \boxed{1,00} \\ & \times \\ & 0,34 \\ & \times \\ \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{bh,i} & \boxed{0,95} \text{ h}^{-1} \\ & \times \\ \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{90,67} \text{ m}^2 \\ & \times \\ \text{Pé direito médio da fração } P_d & \boxed{2,57} \text{ m} \\ & = \\ \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i} & \boxed{75,34} \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

B.2 - ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned} & 1 \\ & - \\ \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,v} & \boxed{0} \\ & \times \\ \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} & \boxed{0} \text{ m}^3/\text{h} \\ & \div \\ R_{bh,v} \cdot A_p \cdot P_d & \boxed{221,58} \text{ m}^3/\text{h} \\ & = \\ \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} & \boxed{1,00} \\ & \times \\ & 0,34 \\ & \times \\ \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento } R_{bh,v} & \boxed{0,95} \text{ h}^{-1} \\ & \times \\ \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{90,67} \text{ m}^2 \\ & \times \\ \text{Pé direito médio da fração } P_d & \boxed{2,57} \text{ m} \\ & = \\ \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,v} & \boxed{75,34} \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO DE REFERÊNCIA

B.3 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned} & \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{dh,i REF} = \frac{0,34}{0,60} h^{-1} \\ & \text{Área útil de pavimento } A_d = 90,67 m^2 \\ & \text{Pé direito médio da fração } P_d = 2,57 m \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i REF} = 47,58 W/^{\circ}C \end{aligned}$$

Folha de Cálculo C

GANHOS TÉRMICOS ÚTEIS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

C.1 - GANHOS INTERNOS

$$\begin{aligned} & 0,72 \\ & \times \\ \text{Ganhos internos médios } q_{\text{int}} & \boxed{4} \text{ W/m}^2 \\ & \times \\ \text{Duração da estação de aquecimento } M & \boxed{4,70} \text{ meses} \\ & \times \\ \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{90,67} \text{ m}^2 \\ & = \\ \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int},i} & \boxed{1227,31} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

C.2 - GANHOS SOLARES

Designação do envidraçado	Orientação	Factor Solar Inverno g_i	Área A_w m ²	Factor de Obstrução $F_{s,i}=F_{h,i} \cdot F_{o,i} \cdot F_{f,i}$	Fracção Envidraçada F_g	Área efectiva colectora $A_{s,i}=A_w \cdot F_{s,i} \cdot F_g \cdot g_i$ m ²	Factor de Orientação X	Área Efectiva colectora a Sul $X \cdot A_{s,i}$ m ²
1 (VE1)	Sudoeste	0,68	13,04	0,60	0,70	3,70	0,84	3,11
2 (VE2)	Nordeste	0,68	2,40	0,82	0,70	0,93	0,33	0,31
3 (VE3)	Nordeste	0,68	2,40	0,82	0,70	0,93	0,33	0,31
4 (VE4)	Nordeste	0,32	3,60	0,74	0,70	0,60	0,33	0,22
5 (VE5)	Noroeste	0,68	0,92	0,90	0,70	0,39	0,33	0,13
-	-	-	-	-	-	-	-	-

Em nenhum caso o produto $X_f \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ deve ser menor que 0.27;

Para contabilizar o efeito do contorno do vão o produto $F_o \cdot F_f$ deve ser inferior ou igual a 0.9, excepto nos casos em que o vão envidraçado esteja à face exterior da parede.

TOTAL

4,07

Designação do envidraçado	Orientação	Factor Solar Inverno $g_i \cdot g_{i,ENU}$	Área A_w m ²	Factor de Obstrução $F_{s,i}=F_{h,i} \cdot F_{o,i} \cdot F_{f,i}$	Fracção Envidraçada $F_g \cdot F_{g,ENU}$	Área efectiva colectora $A_{s,i}=A_w \cdot F_{s,i} \cdot F_g \cdot g_i$ m ²	Factor de Orientação X	Área Efectiva colectora a Sul $X \cdot A_{s,i}$ m ²
-	-	-	-	-	-	-	-	-

No cálculo de $g_{i,int}$ e $g_{i,ENU}$ não deverão ser considerados os dispositivos de protecção solar móveis devendo considerar-se apenas dispositivos permanentes; caso não existam quaisquer dispositivos de sombreamento, g_i será igual ao factor solar do vidro para uma incidência solar normal $g_{\perp,vi}$, afectado do factor de seletividade angular $F_{w,i}$.

TOTAL

0,00

$$\text{Área efectiva total equivalente na orientação a Sul } \boxed{4,07} \text{ m}^2$$

$$\text{Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul } G_{\text{sol}} \boxed{145} \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{mês}$$

$$\text{Duração da estação de aquecimento } M \boxed{4,70} \text{ meses}$$

$$\text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} \boxed{2773,36} \text{ kWh/ano}$$

C.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{aligned} \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int},i} &= 1227,31 \text{ kWh/ano} \\ &+ \\ \text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} &= 2773,36 \text{ kWh/ano} \\ &= \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} &= 4000,67 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

C.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} \text{Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul } G_{\text{sul}} &= 145 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{mês} \\ &x \\ &0,182 \\ &x \\ &0,2 \\ &x \\ \text{Área útil de pavimento } A_p &= 90,67 \text{ m}^2 \\ &= \\ \text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} &= 478,56 \text{ kWh/ano} \\ &+ \\ \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int},i} &= 1227,31 \text{ kWh/ano} \\ &= \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} &= 1705,86538 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

Folha de Cálculo D

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

D.1 - GANHOS INTERNOS

Ganhos internos médios q_{int} W/m²
 \times
 Duração da estação de arrefecimento L_v horas
 \times
 Área útil de pavimento $A_{p,v}$ m²
 \div
 1000
 $=$
 Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$ kWh/ano

D.2 - GANHOS SOLARES

VÃOS ENVIDRAÇADOS

Designação do Envidraçado	Orientação	Área m ²	Tipo de Vidro	Fracção Envidraçada F_g	Factor Sel. angular $F_{w,v}$	Fracção Tempo Prot. Móveis activas $F_{m,v}$	FS Global Prot. Móveis e Perm. g_T	FS Global Prot. Perm. g_{Tp}	FS de Verão $g_v = F_{m,v} \cdot g_T + (1 - F_{m,v}) \cdot g_{Tp}$	Área Efectiva $A_{3,y} = A_{m,v} \cdot F_g \cdot g_v$ m ²	Factor de Obstrução $F_{3,y} = F_{h,v} \cdot F_{o,v} \cdot F_{f,v}$	Intensidade da Radiação I_{sol} kWh/m ² .ano	$I_{sol} \cdot F_{3,y} \cdot A_{3,y}$ kWh/ano
1 (VE1)	Sudoeste	13,04	Duplo	0,70	0,85	0,70	0,12	0,64	0,28	2,51	0,57	495,00	713,55
2 (VE2)	Nordeste	2,40	Duplo	0,70	0,85	0,40	0,12	0,64	0,43	0,72	0,90	365,00	237,58
3 (VE3)	Nordeste	2,40	Duplo	0,70	0,85	0,40	0,12	0,64	0,43	0,72	0,90	365,00	237,58
4 (VE4)	Nordeste	3,60	Duplo	0,70	0,85	0,00	0,75	0,32	0,32	0,81	0,67	365,00	196,98
5 (VE5)	Noroeste	0,92	Duplo	0,70	0,85	0,00	0,75	0,64	0,64	0,41	0,90	365,00	134,87
												TOTAL	1520,56

ENVOLVENTE EXTERIOR OPACA

PAREDE EXTERIOR	Orientação	Coefficiente de absorção α	Área A_{op} m ²	U W/m ² .°C	R_{se} (m ² .°C)/W	Área efectiva $A_g = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$ m ²	Factor de Obstrução $F_g = F_{fr} \cdot F_{of} \cdot F_f$	Intensidade da Radiação I_{sol} kWh/m ² .ano	$I_{sol} \cdot F_g \cdot A_g$ kWh/ano
PDE1	Sudoeste	0,40	0,28	0,41		0,00	0,48	495,00	0,44
PDE1	Noroeste	0,40	26,51	0,41		0,17	1,00	365,00	63,48
PDE1	Nordeste	0,08	10,62	0,41		0,01	1,00	365,00	5,09
PTPPDE1	Sudoeste	0,40	1,41	0,47	0,04	0,01	1,00	495,00	5,25
PTPPDE1	Noroeste	0,40	5,91	0,47		0,04	1,00	365,00	16,22
PTPPDE1	Nordeste	0,40	1,58	0,47		0,01	1,00	365,00	4,34
	-	-	-	-	-	-	-	TOTAL	94,80

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidraçada} \quad 1520,56 \quad \text{kWh/ano} \\
 &+ \\
 &\text{Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca} \quad 94,80 \quad \text{kWh/ano} \\
 &= \\
 &\text{Ganhos Solares brutos } Q_{\text{sol,v}} \quad 1615,36 \quad \text{kWh/ano}
 \end{aligned}$$

D.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int,v}} \quad 1061,93 \quad \text{kWh/ano} \\
 &+ \\
 &\text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol,v}} \quad 1615,36 \quad \text{kWh/ano} \\
 &= \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{\text{g,v}} \quad 2677,29 \quad \text{kWh/ano}
 \end{aligned}$$

D.5 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganhos internos médios } q_{\text{int}} \quad 4 \quad \text{W/m}^2 \\
 &\times \\
 &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \quad \text{horas} \\
 &\div \\
 &1000 \\
 &+ \\
 &\text{factor solar de verão de referência } g_{v, \text{REF}} \quad 0,43 \\
 &\times \\
 &A_w/A_{p, \text{REF}} \quad 0,2 \\
 &\times \\
 &\text{Radiação solar média de referência } I_{\text{solREF}} \quad 505 \quad \text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano} \\
 &= \\
 &55,14 \quad \text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano} \\
 &\times \\
 &\text{Área útil de Pavimento } A_p \quad 90,67 \quad \text{m}^2 \\
 &= \\
 &\text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,v, \text{REF}} \quad 4999,73 \quad \text{kWh/ano}
 \end{aligned}$$

Folha de Cálculo E

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 137,56 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\ &+ \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} \quad 75,34 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i} \quad 212,90 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1.056 \quad ^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 137,56 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} \quad 3.487,86 \quad \text{kWh/ano} \end{aligned}$$

E.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1.056 \quad ^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} \quad 75,34 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} \quad 1.910,14 \quad \text{kWh/ano} \end{aligned}$$

E.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} &\text{Inércia do edifício} \quad \text{Forte} \\ &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} \quad 4000,67 \quad \text{kWh/ano} \\ &\div \\ &\text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,i} + Q_{ve,i} \quad 5397,99 \quad \text{kWh/ano} \\ &= \\ &\text{parâmetro } \gamma_i \quad 0,74 \\ &\text{parâmetro } a_i \quad 4,20 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\ &\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_i \quad 0,91 \\ &x \\ &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} \quad 4000,67 \quad \text{kWh/ano} \\ &= \\ &\text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i} \quad 3627,86 \quad \text{kWh/ano} \end{aligned}$$

E.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned} & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} \quad \boxed{3487,86} \text{ kWh/ano} \\ & \quad + \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} \quad \boxed{1910,14} \text{ kWh/ano} \\ & \quad - \\ & \text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i} \quad \boxed{3627,86} \text{ kWh/ano} \\ & \quad \text{(folha de cálculo 1.4)} \\ & \quad = \\ & \text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento } \quad \boxed{1770,13} \text{ kWh/ano} \\ & \quad \div \\ & \text{Área útil de pavimento } A_p \quad \boxed{90,67} \text{ m}^2 \\ & \quad = \\ & \text{Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{ic} \quad \boxed{19,52} \text{ kWh/m}^2.\text{ano} \end{aligned}$$

LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.6 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} \quad \boxed{120,34} \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad + \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i,REF} \quad \boxed{47,58} \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad = \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i,REF} \quad \boxed{167,92} \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} & \quad \quad \quad 0,024 \\ & \quad \quad \quad \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad \boxed{1.056} \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ & \quad \quad \quad \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} \quad \boxed{120,34} \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad \quad \quad = \\ & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i,REF} \quad \boxed{3051,03} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.8 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} & \quad \quad \quad 0,024 \\ & \quad \quad \quad \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad \boxed{1.056} \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ & \quad \quad \quad \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i,REF} \quad \boxed{47,58} \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad \quad \quad = \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i,REF} \quad \boxed{1206,40} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.9 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} & \text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_{i \text{ REF}} \quad 0,6 \\ & \quad \times \\ & \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i \text{ REF}} \quad 1705,87 \text{ kWh/ano} \\ & \quad = \\ & \text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i \text{ REF}} \quad 1023,52 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.10 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned} & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i \text{ REF}} \quad 3051,03 \text{ kWh/ano} \\ & \quad + \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i \text{ REF}} \quad 1206,40 \text{ kWh/ano} \\ & \quad - \\ & \text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i \text{ REF}} \quad 1.023,52 \text{ kWh/ano} \\ & \quad = \\ & \text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento} \quad 3233,91 \text{ kWh/ano} \\ & \quad \div \\ & \text{Área útil de pavimento } A_p \quad 90,67 \text{ m}^2 \\ & \quad = \\ & \text{Limite máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_i \quad 35,67 \text{ kWh/m}^2\text{.ano} \end{aligned}$$

Folha de Cálculo F

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 137,56 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &+ \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 75,34 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,v} \quad 212,90 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 137,56 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad \times \\ & (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 2 \text{ }^\circ\text{C} \\ & \quad \times \\ & \text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\ & \quad \div \\ & \quad 1000 \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento } Q_{tr,v} \quad 901,48 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 75,34 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad \times \\ & (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 2 \text{ }^\circ\text{C} \\ & \quad \times \\ & \text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\ & \quad \div \\ & \quad 1000 \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento } Q_{ve,v} \quad 493,70 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

F.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} &\text{Inércia do edifício} \quad \text{Forte} \\ & \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,v} \quad 2677,29 \text{ kWh/ano} \\ & \quad \div \\ & \text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,v} + Q_{ve,v} \quad 1395,18 \text{ kWh/ano} \\ & \quad = \\ & \text{parâmetro } \gamma_v \quad 1,92 \\ & \text{parâmetro } a_v \quad 4,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_v \quad 0,50 \end{aligned}$$

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned} & (1 - \eta_v) \quad 0,50 \\ & \quad \times \\ & \text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,v} \quad 2677,29 \text{ kWh/ano} \\ & \quad \div \\ & \text{Área útil de pavimento } A_p \quad 90,67 \text{ m}^2 \\ & \quad = \\ & \text{Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento } N_{vc} \quad 14,63 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} \end{aligned}$$

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO


F.6 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

Factor de utilização dos ganhos η_v

F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$$\begin{array}{r} (1 - \eta_{vREF}) \quad \boxed{0,30} \\ \times \\ \text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,vREF} \quad \boxed{4999,73} \text{ kWh/ano} \\ \div \\ \text{Área útil de pavimento } A_p \quad \boxed{90,67} \text{ m}^2 \\ = \\ \text{Limite das Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento } N_v \quad \boxed{16,69} \text{ kWh/m}^2.\text{ano} \end{array}$$

Anexo F.2 – Ventilação no âmbito do REH – Projeto Existente

 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL		Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS			Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto. apinto@lnec.pt	
					Ferramenta de cálculo citada no n.º3, do ponto 12.1, do despacho n.º 15793-K/2013.	
Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2014. v2.0a, 2014-02-12						
1. Enquadramento do edifício						
Tipo de edifício	Habituação_novo_ou_grande_reabilitação				Área útil (m ²):	90,7
Local (município)	BARREIRO				Pd (m):	2,57
Região	A				N.º de pisos da fração	1
Rugosidade	II				Velocidade vento	Defeito REH
Altitude do local (m)	54,62				Vento (u10REH: 3,6) (m/s)	
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais				Vol (m ³):	233
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Sim				Texterior (°C)	10,7
Altura do edifício (H _{edif}) em m	12				Zref (m)	47
Altura da fração (H _{FA}) em m	6				Aenv/Au:	25%
Altura do obstáculo situado em frente (H _{obs}) em m	15				Proteção do edifício:	Normal
Distância ao obstáculo situado em frente (D _{obs}) em m	23,5				Zona da fachada:	Inferior
2. Permeabilidade ao ar da envolvente						
Foi medido valor n50	Não					
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:						
Área dos vãos (m ²)	22,36					
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)	3					
Permeabilidade ao ar das caixas de estore	Perm. Baixa					
3. Aberturas de admissão de ar na envolvente						
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente	Sim					
Tipo de abertura	Fixa ou regulável manualmente	Auto-regulável a 2 Pa	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa		
Área livre das aberturas fixas (cm ²) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m ³ /h)			287			
4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta						
Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	Sim	Não	Não	Não		
Escoamento de ar	Exaustão					
Perda de carga	Baixa					
Altura da conduta (m)	9					
Cobertura	Em terraço, inclinada (<10°)					
Número de condutas semelhantes	2					
5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado						
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)	Não					
Escoamento de ar						
Caudal nominal (m ³ /h)						
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento						
Pressão total (Pa)						
Rendimento total do ventilador(%)						
Tem sistema de recuperação de calor						
Rendimento da recuperação de calor (%)						
6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)						
Existem meios híbridos	Não					
Escoamento de ar						
Caudal nominal (m ³ /h)						
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento						
Pressão total (Pa)						
Rendimento total do ventilador(%)						
7. Verão - Recuperador de calor						
Existe by-pass ao recuperador de calor no verão						
8. Resultados						
8.1 - Balanço de Energia - Edifício						
R _{ph,j} (h-1) - Aquecimento	0,95					
R _{ph,v} (h-1) - Arrefecimento	0,95					
Wvm (kWh)	0,0					
8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência						
R _{ph,j REF} (h-1)	0,60					
8.3 - Caudal mínimo de ventilação						
Rph estimada em condições nominais (h-1)	0,87					
Requisito mínimo de ventilação (h-1)	0,40					
Crítério Rph mínimo	Satisfatório					
Nota: No Cálculo de Rph min em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerado o efeito de janelas sem classificação, da classe 1 e 2 e a existência de caixas de estore.						
					Técnico:	
					Data:	

Anexo F.3 – Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético (REH) – Projeto Proposto



FICHA N.º 1 REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH) (nos termos da alínea d) do n.º 1.1)

Câmara Municipal de Barreiro

Edifício

Empreendimento: Casas de Santo António Nº de fracções 1

Morada: _____

Freguesia: SANTO ANTONIO DA CHARNECA Concelho: Barreiro

Tipo de intervenção

Edifício Novo Grande intervenção

(a preencher com base na informação do projeto de comportamento térmico)

Caracterização:

Fração	Área interior útil de pavimento (m ²)	Pé direito médio ponderado (m)	Tipologia
2.E.	92,26	2,57	T2

Resumo de cálculo:

Fração	Tx. ren. (RPH)	Nic (kWh/(m ² .ano))	Ni (kWh/(m ² .ano))	Nvc (kWh/(m ² .ano))	Nv (kWh/(m ² .ano))	Qa (kWh/ano)	Ntc (kWh _{EP} /(m ² .ano))	Nt (kWh _{EP} /(m ² .ano))	E _{ren,p} (kWh/ano)(*)	E _{ren,ext} (kWh/ano)(**)
2.E.	0,85	13,17	34,97	13,85	16,70	1783	96,13	153,18	0	0

(*) correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.

(**) correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em E_{ren,p}.

Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico

Nome: 0

Inscrito na: 0 Número de inscrição: 0

Assinatura: _____

Folha de Cálculo A

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

A.1 - ENVOLVENTE EXTERIOR

PAREDES EXTERIORES	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C
PDE1	0,28	0,40	0,11
PDE1	26,51	0,40	10,60
PDE1	12,22	0,40	4,89
PTPPDE1	1,41	0,46	0,64
PTPPDE1	5,91	0,46	2,69
PTPPDE1	1,58	0,46	0,72
	-	-	-
TOTAL			19,66

PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O EXTERIOR	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C
PVE1	1,89	0,40	0,76
PVE2	0,67	0,45	0,30
	-	-	-
TOTAL			1,06

VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C
1 (VE1)	13,04	2,30	29,99
2 (VE2)	2,40	2,30	5,52
3 (VE3)	2,40	2,30	5,52
4 (VE4)	2,00	2,30	4,60
5 (VE5)	0,92	2,30	2,12
	-	-	-
TOTAL			47,74

PONTES TÉRMICAS LINEARES	Comp. B m	ψ W/m.°C	ψ.B W/°C
Fachada com varanda	11,26	0,60	6,76
Fach. com pavimento sobre o exterior ou ENU	21,17	0,55	11,65
Duas paredes verticais em ângulo saliente	2,60	0,40	1,04
Fachada com caixilharia	16,60	0,10	1,66
Zona da caixa de estores	12,17	0,30	3,65
	-	-	-
TOTAL			24,75

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior H_{ext} 93,21 W/°C

A.2 - ENVOLVENTE INTERIOR

PAREDES EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m ²	U W/m ² .°C	b_{tr}	U.A. b_{tr} W/°C
PD11	11,65	0,54	0,70	4,40
PTPPD11	1,68	0,63	0,70	0,74
PD12	7,18	1,75	0,50	6,28
	-	-	-	-
TOTAL				11,43

PAVIMENTOS SOBRE ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m ²	U W/m ² .°C	b_{tr}	U.A. b_{tr} W/°C
PV11	1,18	0,49	0,40	0,23
PV12	12,49	0,57	0,40	2,85
	-	-	-	-
TOTAL				3,08

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ecs} W/°C

A.4 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior $H_{enu} + H_{adj}$ W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ecs} W/°C
 =
 Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

A.5 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{enu} W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ecs} W/°C
 =
 Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

A.6 - ENVOLVENTE EXTERIOR

PAREDES EXTERIORES	Área A m ²	U_{ref} W/m ² .°C	U.A W/°C
<i>correção quando a área de envidraçados excede 20% da área útil</i>	2,31	0,50	1,15
PDE1	0,28	0,50	0,14
PDE1	26,51	0,50	13,26
PDE1	12,22	0,50	6,11
PTPPDE1	1,41	0,50	0,70
PTPPDE1	5,91	0,50	2,96
PTPPDE1	1,58	0,50	0,79
-	-	-	-
		TOTAL	25,11

PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O EXTERIOR	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C
PVE1	1,89	0,40	0,76
PVE2	0,67	0,40	0,27
-	-	-	-
		TOTAL	1,03

VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C
1 (VE1)	11,59	2,90	33,61
2 (VE2)	2,13	2,90	6,19
3 (VE3)	2,13	2,90	6,19
4 (VE4)	1,78	2,90	5,16
5 (VE5)	0,82	2,90	2,37
-	-	-	-
		TOTAL	53,51

PONTES TÉRMICAS LINEARES	Comp. B m	ψ W/m. $^{\circ}$ C	$\psi.B$ W/ $^{\circ}$ C
Fachada com varanda	11,26	0,50	5,63
Fach. com pavimento sobre o exterior ou ENU	21,17	0,50	10,59
Duas paredes verticais em ângulo saliente	2,60	0,40	1,04
Fachada com caixilharia	16,60	0,20	3,32
Zona da caixa de estores	12,17	0,20	2,43
	-	-	-
		TOTAL	23,01

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior H_{ext} 102,66 W/ $^{\circ}$ C

A.7 - ENVOLVENTE INTERIOR

PAREDES EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m 2	U W/m 2 . $^{\circ}$ C	b_{tr}	U.A. b_{tr} W/ $^{\circ}$ C
PDI1	11,65	1,00	0,70	8,16
PTPPDI1	1,68	1,00	0,70	1,17
PDI2	7,18	1,00	0,50	3,59
	-	-	-	-
			TOTAL	12,92

PAVIMENTOS SOBRE ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m 2	U W/m 2 . $^{\circ}$ C	b_{tr}	U.A. b_{tr} W/ $^{\circ}$ C
PVI1	1,18	0,80	0,40	0,38
PVI2	12,49	0,80	0,40	4,00
	-	-	-	-
			TOTAL	4,37

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo $H_{ecs REF}$ 0,00 W/ $^{\circ}$ C

A.9 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior $H_{ext REF}$ 102,66 W/ $^{\circ}$ C

+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior $H_{enu REF} + H_{adj REF}$ 17,29 W/ $^{\circ}$ C

+

Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo $H_{ecs REF}$ 0,00 W/ $^{\circ}$ C

=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr REF}$ 119,95 W/ $^{\circ}$ C

A.10 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior $H_{ext REF}$ 102,66 W/ $^{\circ}$ C

+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior $H_{enu REF}$ 17,29 W/ $^{\circ}$ C

+

Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo $H_{ecs REF}$ 0,00 W/ $^{\circ}$ C

=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr REF}$ 119,95 W/ $^{\circ}$ C

Folha de Cálculo B

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO

B.1 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{array}{r}
 1 \\
 - \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,i} \quad \boxed{0} \\
 \times \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} \quad \boxed{0} \text{ m}^3/\text{h} \\
 \div \\
 R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d \quad \boxed{220,49} \text{ m}^3/\text{h} \\
 = \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} \quad \boxed{1,00} \\
 \times \\
 0,34 \\
 \times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } F_{ph,i} \quad \boxed{0,93} \text{ h}^{-1} \\
 \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p \quad \boxed{92,26} \text{ m}^2 \\
 \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d \quad \boxed{2,57} \text{ m} \\
 = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i} \quad \boxed{74,97} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{array}$$

B.2 - ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

$$\begin{array}{r}
 1 \\
 - \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,v} \quad \boxed{0} \\
 \times \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} \quad \boxed{0} \text{ m}^3/\text{h} \\
 \div \\
 R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d \quad \boxed{220,49} \text{ m}^3/\text{h} \\
 = \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} \quad \boxed{1,00} \\
 \times \\
 0,34 \\
 \times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento } F_{ph,v} \quad \boxed{0,93} \text{ h}^{-1} \\
 \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p \quad \boxed{92,26} \text{ m}^2 \\
 \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d \quad \boxed{2,57} \text{ m} \\
 = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,v} \quad \boxed{74,97} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{array}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO DE REFERÊNCIA

B.3 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned} & \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{\text{dh,i,REF}} = \frac{0,34}{0,60} \text{ h}^{-1} \\ & \text{Área útil de pavimento } A_d = \frac{92,26}{2,57} \text{ m}^2 \\ & \text{Pé direito médio da fração } P_d = \frac{48,36}{1} \text{ m} \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{\text{ve,i,REF}} = 48,36 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Folha de Cálculo C

GANHOS TÉRMICOS ÚTEIS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

C.1 - GANHOS INTERNOS

$$\begin{aligned} & 0,72 \\ & \times \\ \text{Ganhos internos médios } q_{\text{int}} & \boxed{4} \text{ W/m}^2 \\ & \times \\ \text{Duração da estação de aquecimento } M & \boxed{4,70} \text{ meses} \\ & \times \\ \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{92,26} \text{ m}^2 \\ & = \\ \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int},i} & \boxed{1248,83} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

C.2 - GANHOS SOLARES

Designação do envidraçado	Orientação	Factor Solar Inverno g_i	Área A_w m ²	Factor de Obstrução $F_{s,i}=F_{h,i}\cdot F_{o,i}\cdot F_{f,i}$	Fracção Envidraçada F_g	Área efectiva colectora $A_{s,i}=A_w\cdot F_{s,i}\cdot F_g\cdot g_i$ m ²	Factor de Orientação χ	Área Efectiva colectora a Sul $\chi\cdot A_{s,i}$ m ²
1 (VE1)	Sudoeste	0,68	13,04	0,57	0,70	3,51	0,84	2,95
2 (VE2)	Nordeste	0,68	2,40	0,82	0,70	0,93	0,33	0,31
3 (VE3)	Nordeste	0,68	2,40	0,82	0,70	0,93	0,33	0,31
4 (VE4)	Nordeste	0,68	2,00	0,84	0,70	0,79	0,33	0,26
5 (VE5)	Noroeste	0,68	0,92	0,90	0,70	0,39	0,33	0,13
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Em nenhum caso o produto $\chi_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ deve ser menor que 0.27;</i>							TOTAL	3,95
<i>Para contabilizar o efeito do contorno do vão o produto $F_o \cdot F_f$ deve ser inferior ou igual a 0.9, excepto nos casos em que o vão envidraçado esteja à face exterior da parede.</i>								

Designação do envidraçado	Orientação	Factor Solar Inverno $g_i \cdot g_{i,ENU}$	Área A_w m ²	Factor de Obstrução $F_{s,i}=F_{h,i}\cdot F_{o,i}\cdot F_{f,i}$	Fracção Envidraçada $F_g \cdot F_{g,ENU}$	Área efectiva colectora $A_{s,i}=A_w\cdot F_{s,i}\cdot F_g\cdot g_i$ m ²	Factor de Orientação χ	Área Efectiva colectora a Sul $\chi\cdot A_{s,i}$ m ²
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>No cálculo de $g_{i,int}$ e $g_{i,ENU}$ não deverão ser considerados os dispositivos de protecção solar móveis devendo considerar-se apenas dispositivos permanentes; caso não existam quaisquer dispositivos de sombreamento, g_i será igual ao factor solar do vidro para uma incidência solar normal $g_{\perp,vi}$, afectado do factor de seletividade angular $F_{w,i}$.</i>							TOTAL	0,00

$$\begin{aligned} & \text{Área efectiva total equivalente na orientação a Sul } \boxed{3,95} \text{ m}^2 \\ & \times \\ \text{Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul } G_{\text{sul}} & \boxed{145} \text{ kWh/m}^2\cdot\text{mês} \\ & \times \\ \text{Duração da estação de aquecimento } M & \boxed{4,70} \text{ meses} \\ & = \\ \text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} & \boxed{2694,06} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

C.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{aligned} \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int},i} & \boxed{1248,83} \text{ kWh/ano} \\ & + \\ \text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} & \boxed{2694,06} \text{ kWh/ano} \\ & = \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} & \boxed{3942,89} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

C.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} \text{Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul } G_{\text{sol}} &= 145 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{mês} \\ &\times \\ &0,182 \\ &\times \\ &0,2 \\ &\times \\ \text{Área útil de pavimento } A_p &= 92,26 \text{ m}^2 \\ &= \\ \text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} &= 486,95 \text{ kWh/ano} \\ &+ \\ \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int},i} &= 1248,83 \text{ kWh/ano} \\ &= \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} &= 1735,77964 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

Folha de Cálculo D

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

D.1 - GANHOS INTERNOS

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganhos internos médios } q_{int} \quad \boxed{4} \text{ W/m}^2 \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da estação de arrefecimento } L_v \quad \boxed{2928} \text{ horas} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Área útil de pavimento } A_p \quad \boxed{92,26} \text{ m}^2 \\
 &\quad + \\
 &\quad \quad 1000 \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos internos brutos } Q_{int,v} \quad \boxed{1080,55} \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

D.2 - GANHOS SOLARES

VÃOS ENVIDRAÇADOS

Designação do Envidraçado	Orientação	Área m ²	Tipo de Vidro	Fracção Envidraçada F _g	Factor Sel. angular F _{w,v}	Fracção Tempo Prot. Móveis activas F _{m,v}	FS Global Prot. Móveis e Perm. g _r	FS Global Prot. Perm. g _{tp}	FS de Verão g _v =F _{m,v} ·g _r + (1-F _{m,v})·g _{tp}	Área Efectiva A _{s,v} =A _w ·F _g ·g _v m ²	Factor de Obstrução F _{s,v} =F _{h,v} ·F _{o,v} ·F _{fv}	Intensidade da Radiação I _{sol} kWh/m ² .ano	I _{sol} ·F _{s,v} ·A _s kWh/ano
1 (VE1)	Sudoeste	13,04	Duplo	0,70	0,85	0,70	0,05	0,64	0,23	2,06	0,55	495,00	558,10
2 (VE2)	Nordeste	2,40	Duplo	0,70	0,85	0,40	0,05	0,64	0,40	0,68	0,90	365,00	222,13
3 (VE3)	Nordeste	2,40	Duplo	0,70	0,85	0,40	0,05	0,64	0,40	0,68	0,90	365,00	222,13
4 (VE4)	Nordeste	2,00	Duplo	0,70	0,85	0,40	0,05	0,64	0,40	0,56	0,90	365,00	185,11
5 (VE5)	Noroeste	0,92	Duplo	0,70	0,85	0,40	0,05	0,64	0,40	0,26	0,90	365,00	85,15
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL												1272,62	

ENVOLVENTE EXTERIOR OPACA

PAREDE EXTERIOR	Orientação	Coefficiente de absorção α	Área A_{op} m ²	U W/m ² .°C	R_{se} (m ² .°C)/W	Área efectiva $A_f = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$ m ²	Factor de Obstrução $F_s = F_{t,1} \cdot F_o \cdot F_f$	Intensidade da Radiação I_{sol} kWh/m ² .ano	$I_{sol} \cdot F_s \cdot A_f$ kWh/ano
PDE1	Sudoeste	0,40	0,28	0,40		0,00	0,48	495,00	0,43
PDE1	Noroeste	0,40	26,51	0,40		0,17	1,00	365,00	61,93
PDE1	Nordeste	0,04	12,22	0,40		0,01	1,00	365,00	2,85
PTPPDE1	Sudoeste	0,40	1,41	0,46	0,04	0,01	1,00	495,00	5,07
PTPPDE1	Noroeste	0,40	5,91	0,46		0,04	1,00	365,00	15,71
PTPPDE1	Nordeste	0,40	1,58	0,46		0,01	1,00	365,00	4,21
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
								TOTAL	90,21

$$\begin{array}{r}
 \text{Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidraçada} \\
 \frac{1272,62}{\text{kWh/ano}} \\
 + \\
 \text{Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca} \\
 \frac{90,21}{\text{kWh/ano}} \\
 = \\
 \text{Ganhos Solares brutos } Q_{\text{sol,v}} \\
 \frac{1362,83}{\text{kWh/ano}}
 \end{array}$$

D.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{array}{r}
 \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int,v}} \\
 \frac{1080,55}{\text{kWh/ano}} \\
 + \\
 \text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol,v}} \\
 \frac{1362,83}{\text{kWh/ano}} \\
 = \\
 \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{\text{g,v}} \\
 \frac{2443,38}{\text{kWh/ano}}
 \end{array}$$

D.5 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{array}{r}
 \text{Ganhos internos médios } q_{\text{int}} \\
 \frac{4}{\text{W/m}^2} \\
 \times \\
 \text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \\
 \frac{2928}{\text{horas}} \\
 \div \\
 1000 \\
 + \\
 \text{factor solar de verão de referência } g_{v, \text{REF}} \\
 \frac{0,43}{\text{---}} \\
 \times \\
 A_w/A_{p, \text{REF}} \\
 \frac{0,2}{\text{---}} \\
 \times \\
 \text{Radiação solar média de referência } I_{\text{sol REF}} \\
 \frac{505}{\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}} \\
 = \\
 \frac{55,14}{\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}} \\
 \times \\
 \text{Área útil de Pavimento } A_p \\
 \frac{92,26}{\text{m}^2} \\
 = \\
 \text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,v \text{ REF}} \\
 \frac{5087,40}{\text{kWh/ano}}
 \end{array}$$

Folha de Cálculo E

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 107,71 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &+ \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} \quad 74,97 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i} \quad 182,68 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento GD} \quad 1.056 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 107,71 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} \quad 2.731,04 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento GD} \quad 1.056 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} \quad 74,97 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} \quad 1.900,69 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} &\text{Inércia do edifício} \quad \text{Forte} \\ &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} \quad 3942,89 \text{ kWh/ano} \\ &\div \\ &\text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,i} + Q_{ve,i} \quad 4631,73 \text{ kWh/ano} \\ &= \\ &\text{parâmetro } \gamma_i \quad 0,85 \\ &\text{parâmetro } a_i \quad 4,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_i \quad 0,87 \\ &x \\ &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} \quad 3942,89 \text{ kWh/ano} \\ &= \\ &\text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i} \quad 3417,09 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned} &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} \quad 2731,04 \text{ kWh/ano} \\ &+ \\ &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} \quad 1900,69 \text{ kWh/ano} \\ &- \\ &\text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i} \quad 3417,09 \text{ kWh/ano} \\ &\text{(folha de cálculo 1.4)} \\ &= \\ &\text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento} \quad 1214,64 \text{ kWh/ano} \\ &\div \\ &\text{Área útil de pavimento } A_p \quad 92,26 \text{ m}^2 \\ &= \\ &\text{Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{ic} \quad 13,17 \text{ kWh/m}^2\text{.ano} \end{aligned}$$

LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.6 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr, REF} \quad 119,95 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 &+ \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i, REF} \quad 48,36 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i, REF} \quad 168,32 \quad \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 &0,024 \\
 &x \\
 &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1.056 \quad ^\circ\text{C.dias} \\
 &x \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr, REF} \quad 119,95 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i, REF} \quad 3041,29 \quad \text{kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.8 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 &0,024 \\
 &x \\
 &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1.056 \quad ^\circ\text{C.dias} \\
 &x \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i, REF} \quad 48,36 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i, REF} \quad 1226,25 \quad \text{kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.9 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 &\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_{i, REF} \quad 0,6 \\
 &x \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i, REF} \quad 1735,78 \quad \text{kWh/ano} \\
 &= \\
 &\text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i, REF} \quad 1041,47 \quad \text{kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.10 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i, REF} \quad 3041,29 \quad \text{kWh/ano} \\
 &+ \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i, REF} \quad 1226,25 \quad \text{kWh/ano} \\
 &- \\
 &\text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i, REF} \quad 1.041,47 \quad \text{kWh/ano} \\
 &= \\
 &\text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento} \quad 3226,07 \quad \text{kWh/ano} \\
 &\div \\
 &\text{Área útil de pavimento } A_p \quad 92,26 \quad \text{m}^2 \\
 &= \\
 &\text{Limite máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_i \quad 34,97 \quad \text{kWh/m}^2\text{.ano}
 \end{aligned}$$

Folha de Cálculo F

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 107,71 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &+ \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 74,97 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,v} \quad 182,68 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 107,71 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &\times \\ &(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 2 \text{ }^\circ\text{C} \\ &\times \\ &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\ &\div \\ &1000 \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento } Q_{tr,v} \quad 705,87 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 74,97 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &\times \\ &(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 2 \text{ }^\circ\text{C} \\ &\times \\ &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\ &\div \\ &1000 \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento } Q_{ve,v} \quad 491,26 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

F.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} &\text{Inércia do edifício} \quad \text{Forte} \\ &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,v} \quad 2443,38 \text{ kWh/ano} \\ &\div \\ &\text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,v} + Q_{ve,v} \quad 1197,13 \text{ kWh/ano} \\ &= \\ &\text{parâmetro } \gamma_v \quad 2,04 \\ &\text{parâmetro } a_v \quad 4,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_v \quad 0,48 \end{aligned}$$

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned} &(1 - \eta_v) \quad 0,52 \\ &\times \\ &\text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,v} \quad 2443,38 \text{ kWh/ano} \\ &\div \\ &\text{Área útil de pavimento } A_p \quad 92,26 \text{ m}^2 \\ &= \\ &\text{Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento } N_{vc} \quad 13,85 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano} \end{aligned}$$

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.6 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

Factor de utilização dos ganhos η_v

F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$$\begin{array}{r} (1 - \eta_{v, REF}) \quad \boxed{0,30} \\ \times \\ \text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,v, REF} \quad \boxed{5087,40} \text{ kWh/ano} \\ \div \\ \text{Área útil de pavimento } A_p \quad \boxed{92,26} \text{ m}^2 \\ = \\ \text{Limite das Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento } N_v \quad \boxed{16,69} \text{ kWh/m}^2.\text{ano} \end{array}$$

Anexo F.3 – Ventilação no âmbito do REH – Projeto Proposto

 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL		Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS		Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto, apinto@lnecc.pt	
				Ferramenta de cálculo citada no n.º 3, do ponto 12.1, do despacho n.º 15793-K/2013.	
Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2014. v2.0a, 2014-02-12					
1. Enquadramento do edifício					
Tipo de edifício	Habitação_novo_ou_grande_reabilitação			Área útil (m2):	92,3
Local (município)	BARREIRO			Pd (m):	2,57
Região	A			N.º de pisos da fração	1
Rugosidade	II			Velocidade vento	Defeito REH
Altitude do local (m)	54,62			Vento (u10REH: 3.6) (m/s)	
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais			Vol (m3):	237
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Sim			Texterior (°C)	10,7
Altura do edifício (H _{edif}) em m	12			Zref (m)	47
Altura da fração (H _{FA}) em m	6			Aenv/Au:	22%
Altura do obstáculo situado em frente (H _{obs}) em m	15			Proteção do edifício:	Normal
Distância ao obstáculo situado em frente (D _{obs}) em m	23,5			Zona da fachada:	Inferior
2. Permeabilidade ao ar da envolvente					
Foi medido valor n50	Não				
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:					
Área dos vãos (m2)	20,757				
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)	3				
Permeabilidade ao ar das caixas de estore	Perm. Baixa				
3. Aberturas de admissão de ar na envolvente					
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente	Sim				
Tipo de abertura	Fixa ou regulável manualmente	Auto-regulável a 2 Pa	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa	
Área livre das aberturas fixas (cm2) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m3/h)			287		
4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta					
Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	Sim	Não	Não	Não	
Escoamento de ar	Exaustão				
Perda de carga	Baixa				
Altura da conduta (m)	9				
Cobertura	Em terraço, inclinada (<10°)				
Número de condutas semelhantes	2				
5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado					
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)	Não				
Escoamento de ar					
Caudal nominal (m3/h)					
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento					
Pressão total (Pa)					
Rendimento total do ventilador(%)					
Tem sistema de recuperação de calor					
Rendimento da recuperação de calor (%)					
6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)					
Existem meios híbridos	Não				
Escoamento de ar					
Caudal nominal (m3/h)					
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento					
Pressão total (Pa)					
Rendimento total do ventilador(%)					
7. Verão - Recuperador de calor					
Existe by-pass ao recuperador de calor no verão					
8. Resultados					
8.1 - Balanço de Energia - Edifício					
R _{ph,i} (h-1) - Aquecimento	0,93			ok	
R _{ph,v} (h-1) - Arrefecimento	0,93				
W _{vm} (kWh)	0,0				
8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência					
R _{ph,i REF} (h-1)	0,60				
8.3 - Caudal mínimo de ventilação					
R _{ph} estimada em condições nominais (h-1)	0,85				
Requisito mínimo de ventilação (h-1)	0,40				
Critério R _{ph} mínimo	Satisfatório				
Nota: No Cálculo de R _{ph} min em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerado o efeito de janelas sem classificação, da classe 1 e 2 e a existência de caixas de estore.					
				Técnico:	
				Data:	